www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

15e JAARGANG No. 1, blz. 1-36 JANUARI 1953

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

METAALDETECTOREN

door E. BLASBERG en A. de GROOT. 621.318.4:621.317.18:669-493

Het aantonen van de aanwezigheid van metalen voorwerpen in niet-metallische stoffen is bij vele fabricageprocessen belangrijk. Reeds dikwijls is grote schade veroorzaakt door spijkers of kogels in boomstammen die men tot planken wil zagen, door metalen gereedschappen in gedolven kolen die men in een breekmachine wil breken, enz. Volgens eenzelfde principe als in de oorlog werd toegepast voor het opsporen van landmijnen, heeft men allerlei toestellen geconstrueerd waarmee de aanwezigheid van metalen voorwerpen in niet-metallische stoffen kan worden gesignaleerd. Bij apparaten die speciaal moeten dienen voor het opsporen van uiterst kleine metaaldeeltjes heeft men thans een dusdanige gevoeligheid weten te bereiken dat zelfs ijzerdeeltjes van 0,1 mg nog kunnen worden ontdekt.

Bij de productie of de verwerking van niet-metallische stoffen komt het vrij regelmatig voor, dat metaaldelen in het bewerkte of nog te bewerken materiaal geraken. In vele gevallen kan dit funest zijn voor naam en kwaliteit van het product, terwijl soms door deze metaaldelen ook grote schade wordt veroorzaakt aan de bewerkingsmachines. Dikwijls is het moeilijk of zelfs onmogelijk de ongewenste metaaldelen bijtijds te zien en te verwijderen, bijv. doordat ze onder het oppervlak van het niet-metallische materiaal liggen; bovendien vereist de inspectie een nooit verzwakkende attentie van het personeel.

Het streven om de menselijke factor uit te schakelen en ook in gevallen te voorzien waarin een visuele inspectie ten enenmale moet falen, heeft geleid tot de ontwikkeling van speciale toestellen (metaaldetectoren) waar men het te onderzoeken materiaal langs voert en die bij het passeren van een metalen voorwerp een alarmsignaal geven[1]). Desgewenst kan ook de bewerkingsmachine automatisch tot stilstand worden gebracht ofwel het gedeelte van het product dat het gesignaleerde metaaldeel bevat, worden verwijderd.

Vele metaaldetectoren hebben slechts tot doel het signaleren van de aanwezigheid van tamelijk grote metalen voorwerpen, zoals spijkers of kogels in boomstammen die men tot planken wil zagen, of gereedschappen die geraakt zijn tussen kolen die aan een breekmachine worden toegevoerd. In andere gevallen echter is het gewenst om uiterst kleine metaaldeeltjes te kunnen detecteren. Een voorbeeld hiervan vindt men in de grammofoonplatenindustrie, waar een zeer klein metaaldeeltje in het plastische te persen materiaal soms een gehele matrijs onbruikbaar maakt. Ook bij de fabricage van textielweefsels kan een klein metaaldeeltje, bijv. een speld of een nietje, soms grote schade veroorzaken aan machines en aan de in bewerking zijnde stoffen.

In het volgende zullen wij een beschrijving geven van een tweetal apparaten die speciaal zijn ontwikkeld voor het onderzoek van niet-metallische stoffen op de aanwezigheid van kleine metaaldeeltjes. Het eerste apparaat is bestemd voor de contrôle van „volumineuze" producten, zoals materialen in balen, op transportbanden, verpakte levensmiddelen, en dergelijke. Het tweede te beschrijven toestel is geconstrueerd voor het opsporen van ijzerdeeltjes in „baanvormig" materiaal, zoals papier en textielweefsels.

[1]) Zie bijv.:
G. S. Elphick, A. R. Woods en S. Y. Logan, Metal Detection in Industry, Symposium on Electronics, Chapman and Hall, 124-139, 1949;
C. R. Schafer, Industrial Metal Detector Design, Electronics, **24**, 86-91, Nov. 1951;
M. Grobtuch en D. J. Williams, Pulp-Log Metal Detector, Electronics **25**, 124-126, Juli 1952;
W. Zandra, Ein neues Metallmeldegerät, Elektrotechn. Z. **73**, 487-489, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Metaaldetector voor volumineuze materialen

Beschrijving van het toestel

Het principe van dit apparaat zullen wij verklaren aan de hand van *fig. 1*. De te onderzoeken materialen bevinden zich op de transportband A en worden hierop bewogen door een stel van vier

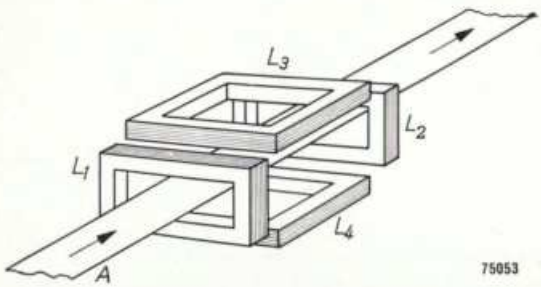


Fig. 1. Schematische voorstelling van de opbouw van het spoelenstel van een metaaldetector voor volumineuze materialen. Op de transportband A liggen de te controleren stoffen. L_1 en L_2 generatorspoelen; L_3 en L_4 opvangspoelen.

spoelen, die zijn aangeduid als L_1, L_2, L_3 en L_4. De zg. generatorspoelen, L_1 en L_2, zijn met dezelfde wikkelrichting in serie geschakeld. Door deze spoelen wordt een wisselstroom gevoerd met een frequentie van 1400 Hz. In *fig. 2*, waarin een doorsnede door het spoelenstel is weergegeven, zijn schematisch enkele krachtlijnen getekend van het

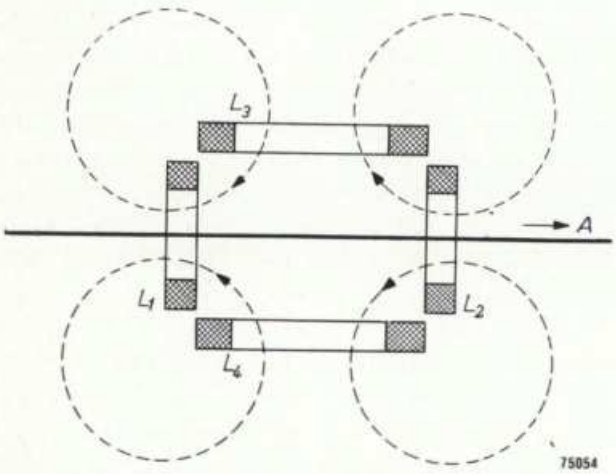


Fig. 2. Doorsnede door een spoelenstel volgens fig. 1. De stippellijnen geven schematisch enkele magnetische krachtlijnen weer.

magnetische veld dat in en om deze spoelen ontstaat. Zoals uit deze figuur blijkt, omvatten de spoelen L_3 en L_4, de zg. opvangspoelen, krachtlijnen zowel van L_1 als van L_2, en wel doorlopen de krachtlijnen deze spoelen in tegengestelde richtingen. Wanneer de opstelling volkomen symmetrisch is, wordt in L_3 noch in L_4 een wisselspanning geïnduceerd.

Bevindt zich nu in het te controleren materiaal, dat door de transportband A wordt aangevoerd, een metaaldeeltje en komt dit in spoel L_1, dan zal het krachtlijnenverloop van deze spoel een wijziging ondergaan. Hierdoor is de compensatie van de door L_1 en L_2 in L_3 en L_4 geïnduceerde spanningen niet langer aanwezig. In de beide laatstgenoemde spoelen zal dus een wisselspanning ontstaan. Doordat L_3 en L_4 met tegengestelde wikkelrichting in serie zijn geschakeld en op een versterker zijn aangesloten, wordt nu aan deze versterker een wisselspanning toegevoerd. De versterkte spanning kan na gelijkrichting door middel van een relais een alarminrichting in werking stellen, een motor uitschakelen, enz.

Als generator wordt een zg. RC-oscillator gebruikt, omdat hiermede op eenvoudiger wijze een stabiele frequentie en een constante uitgangsspanning zijn te verkrijgen dan met een oscillator die een LC-kring bevat. De oscillator is met behulp van een fazeomkeerbuis gekoppeld met een balansversterker. Het schema van dit gedeelte van het apparaat is in *fig. 3* voorgesteld. De eigenlijke oscillator bestaat uit de buizen T_1 en T_2. De positieve terugkoppeling vindt plaats via het netwerk R_1-C_1-R_2-C_2, terwijl via R_3 en R_4 een tegenkoppeling is aangebracht. Wil deze schakeling oscilleren, dan moet de anodewisselspanning van T_2 in faze zijn met de roosterwisselspanning van T_1. Zoals men gemakkelijk berekent, is dit het geval voor een hoekfrequentie ω die is gegeven door:

$$\omega^2 = \frac{1}{R_1 R_2 C_1 C_2} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

Wanneer, zoals bij RC-oscillatoren meestal het geval is, R_1 gelijk aan R_2 en C_1 gelijk aan C_2 worden gekozen, is dus:

$$\omega = \frac{1}{R_1 C_1} = \frac{1}{R_2 C_2} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

De verhouding van de anodewisselspanning van T_2 tot de roosterwisselspanning van T_1 is hierbij 3. Hieruit volgt dat de door de beide buizen geleverde versterking slechts 3 behoeft te zijn om oscilleren mogelijk te maken. Zonder de hierboven reeds vermelde tegenkoppeling (R_3-R_4) is de versterking veel groter; zij stelt zich echter automatisch op de waarde 3 in doordat voor R_3 een weerstand is gebruikt met een grote negatieve temperatuurcoëfficient (zg. NTC-weerstand [2])). Wanneer door een dergelijke weerstand een stroom vloeit en de weer-

[2]) Zie: E. J. W. Verwey, P. W. Haayman en F. C. Romeyn, Halfgeleiders met grote negatieve temperatuurcoëfficient van de weerstand, Philips techn. T. **9**, 239-248, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

stand dus warm wordt, neemt de weerstandswaarde af. In de hier toegepaste schakeling zal dus de tegenkoppelfactor groter worden wanneer de spanning op R_3 stijgt. Dit laatste is het geval zolang als de versterking die T_1 en T_2 leveren (met inachtneming van de tegenkoppeling) groter dan 3 is.

Wanneer de versterking zonder tegenkoppeling zeer groot is, dus zeer sterk wordt tegengekoppeld, zal over de weerstanden R_3 en R_4 een spanningsdeling plaats hebben met een deelverhouding die bijna gelijk is aan de deelverhouding van de spanningsdeler R_1-C_1-R_2-C_2, welke verhouding, zoals we hierboven reeds vermeldden, 3 bedraagt. De deze buizen zijn via de transformator Tr gekoppeld met de kabel K_1, die het toestel met de beide generatorspoelen L_1 en L_2 verbindt. Deze spoelen vormen met de condensator C_4 een trillingskring die is afgestemd op een frequentie van 1400 Hz. Daar het practisch niet mogelijk is de spoelen volkomen gelijk te maken, zijn parallel met één van de spoelen een variabele weerstand R_6 en een variabele condensator C_5 geschakeld. Met behulp hiervan kunnen de stromen in de beide spoelen zodanig worden ingesteld dat de som van de in de opvangspoelen L_3 en L_4 (zie fig. 1 en 2) geïnduceerde spanningen juist nul is.

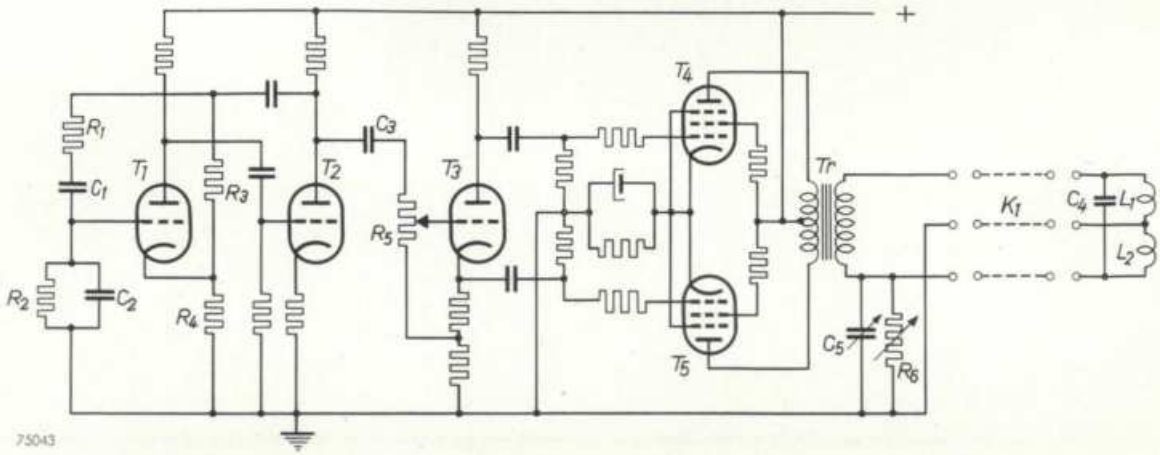


Fig. 3. Principeschema van het generatorgedeelte van een metaaldetector. De buizen T_1 en T_2 vormen een zg. *RC*-oscillator. T_3 is een versterk- en fazeomkeerbuis, terwijl T_4 en T_5 de beide eindbuizen zijn. K_1 is de kabel waardoor het apparaat is verbonden met de generatorspoelen L_1 en L_2.

uitgangsspanning van de *RC*-oscillator zal dus zo groot worden dat R_3 ongeveer de waarde $2R_4$ bereikt [3]). Voor nadere bijzonderheden betreffende deze soort oscillatoren verwijzen wij naar elders verschenen artikelen [4]).

De door de *RC*-oscillator geleverde spanning wordt via de condensator C_3 en de sterkteregelaar R_5 toegevoerd aan het rooster van de buis T_3. Van de anode en de kathode van deze buis worden twee spanningen in tegenfaze verkregen, die worden gelegd aan de roosters van de beide in balans geschakelde penthodes T_4 en T_5. De anodeketens van

Fig. 4 toont het vereenvoudigde schema van het versterker- en detectorgedeelte, waaraan de in de opvangspoelen L_3 en L_4 geïnduceerde spanning via de kabel K_2 wordt toegevoerd. Dit gedeelte

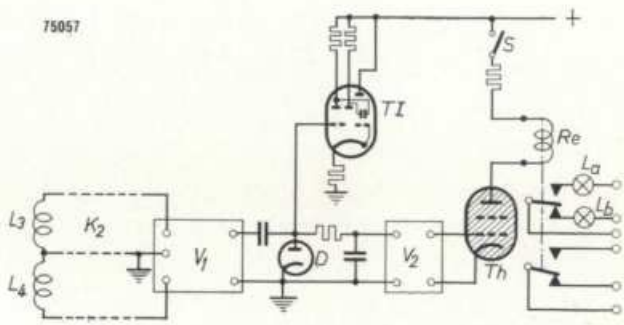


Fig. 4. Principeschema van het versterker- en detectorgedeelte van een metaaldetector. V_1 is een versterker met vier trappen, waarmede spanningen met de generatorfrequentie van 1400 Hz worden versterkt. De door de diode D gelijkgerichte spanning wordt versterkt in de tweetrapsversterker V_2 en tevens toegevoerd aan de afstemindicator TI. In de anodeketen van het thyratron Th is een relais Re opgenomen. S is een schakelaar voor het doven van het thyratron. L_a en L_b zijn signaallampjes.

[3]) De NTC-weerstand vormt dus in deze schakeling het begrenzende element. Indien deze begrenzingsmethode niet wordt toegepast, wordt de uitgangsspanning in de regel begrensd door het optreden van roosterstroom of door krommingen van de buiskarakteristieken. In dit geval is de vervorming van de uitgangsspanning veel groter.

[4]) N. G. Scroggie, Audio signal generator, Wireless World **40**, 294-297 en 331-334, 1949.
J. Mc G. Sowerby, Selective *RC* circuits, Wireless World **41**, 223-225, 1950.
D. J. H. Admiraal, *RC* oscillators, Electronic Application Bulletin **12**, 111-131, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bevat een versterker V_1 met vier trappen, waarin de in L_3 en L_4 geïnduceerde wisselspanning wordt versterkt. Hoewel aan dit gedeelte slechts een spanning met één vaste frequentie wordt toegevoerd, is het toch noodzakelijk aan deze versterker een zekere selectiviteit te geven. Allereerst is dit gewenst omdat de versterking vrij groot is, zodat de invloed van het geruis dat in de eerste versterktrappen ontstaat, dient te worden verminderd. Bovendien is het ongewenst harmonischen van spanningen met de oscillatorfrequentie te versterken, en wel om de volgende reden. De door de eindbuizen van het generatorgedeelte aan de spoelen L_1 en L_2 toegevoerde wisselstroom is niet zuiver sinusoïdaal. Het „evenwicht", waarbij de som van de in L_3 en L_4 geïnduceerde spanningen nul is, is echter niet gelijktijdig in te stellen voor een spanning met de grondfrequentie en voor harmonischen hiervan. Wanneer dus (bij afwezigheid van een metaaldeeltje) in L_3+L_4 geen spanning met de grondfrequentie wordt geïnduceerd, wordt toch aan het versterkergedeelte een spanning toegevoerd, die uit componenten met hogere frequenties bestaat. Hierdoor kan de instelling van het apparaat ernstig worden bemoeilijkt. Om deze redenen is het gedeelte V_1 als selectieve versterker uitgevoerd, waartoe een tweetal bandfilters is ingebouwd.

De door de versterker V_1 geleverde wisselspanning wordt gelijkgericht door de diode D. Passeert een metaaldeeltje de spoelen L_1 en L_2, dan ondergaat de spanning die in L_3 en L_4 wordt geïnduceerd een wijziging, waardoor ook de gelijkspanning die de diode D levert, verandert. Deze spanningsstoot wordt versterkt in de tweetrapsversterker V_2. De door deze versterker geleverde spanning wordt toegevoerd aan het rooster van een thyratron *Th*, en wel in een zodanige faze dat bij een toeneming van de aan de diode D toegevoerde wisselspanning aan het rooster van *Th* een positieve spanningsstoot ontstaat, ten gevolge waarvan deze buis geleidend wordt.

De door de diode D geleverde spanning wordt tevens toegevoerd aan het rooster van de afstemindicator *TI*. Met behulp hiervan kan de afregeling van het apparaat geschieden. Hiertoe stelt men de weerstand R_6 en de condensator C_5 van het generatorgedeelte (fig. 3) zodanig in, dat de totale in de opvangspoelen geïnduceerde spanning zo gering mogelijk is waarbij het fluorescerende vlak van de afstemindicator een zo klein mogelijke lichtende sector vertoont.

De versterker V_2 is niet als gelijkspanningsversterker uitgevoerd, dat wil zeggen, hij is uitgerust met condensatoren als koppelelementen. Het is nl. niet te voorkomen dat in de evenwichtstoestand, waarbij de in de opvangspoelen geïnduceerde spanning het kleinst is, een langzame verschuiving optreedt. Hiervan kunnen bijv. temperatuurvariaties de oorzaak zijn, ofwel mechanische trillingen waaraan het apparaat is blootgesteld. Was nu V_2 een gelijkspanningsversterker, dan zou het toestel telkens na enige tijd in werking komen, ook wanneer geen metaaldeeltje de spoelen passeert. Doordat echter V_2 een wisselspanningsversterker is, kunnen alleen snelle veranderingen van de in L_3 en L_4 geïnduceerde spanningen de alarminrichting in werking stellen.

Om te voorkomen dat de evenwichtstoestand door de bovenvermelde langzaam werkende invloeden te veel wordt verstoord, dient op geregelde tijden de afregeling van het apparaat op een minimum uitslag van de afstemindicator te worden herhaald.

De gevoeligheid

De gevoeligheid van het toestel neemt af met toenemende grootte van de generator- en de opvangspoelen. Het is in de praktijk gebleken dat bij een doorlaatopening van 16 cm² een ijzerdeeltje van 0,1 mg nog kan worden aangetoond. Ter illustratie van het verband dat bestaat tussen de door de versterker geleverde spanning en de grootte van een ijzerdeeltje, is in *fig. 5* de wisselspanning aan de uitgang van V_1 uitgezet als functie van

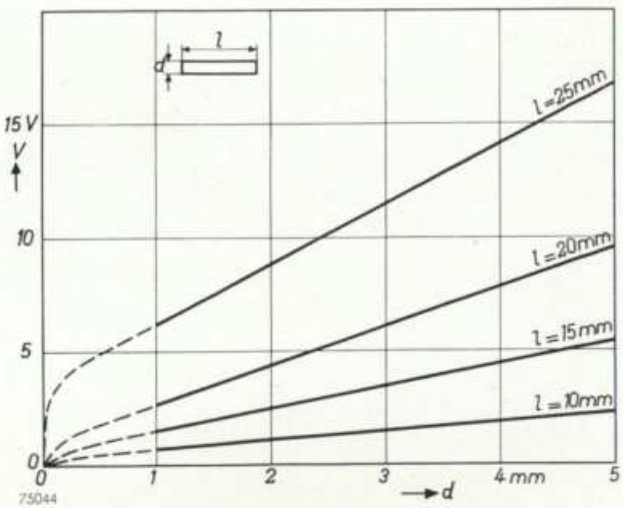


Fig. 5. Grafiek voorstellende de door de versterker V_1 (zie fig. 4) geleverde spanning V als functie van de diameter d van een in één der generatorspoelen liggend cilindervormig ijzerdeeltje bij enkele waarden van de lengte l van dit deeltje. De doorlaatopening van de spoelen was hierbij 10 × 10 cm².

de dikte van een, coaxiaal in één van de generatorspoelen geplaatst, cilindervormig ijzerdeeltje bij enkele waarden van de lengte. De doorlaatopening bedroeg hierbij 1 dm². Uit fig. 5 blijkt, dat bij niet al te kleine afmetingen de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verkregen spanning een lineaire functie is van de dikte van het deeltje.

Daar bij een bepaalde grootte van de flux de in de opvangspoelen geïnduceerde spanning evenredig is met de frequentie, neemt in eerste instantie de gevoeligheid met toenemende frequentie toe. Men moet hier echter verschil maken tussen ijzer en niet-ferromagnetische materialen. Bij hoger wordende frequentie worden in de aan te tonen deeltjes in toenemende mate wervelstromen opgewekt. Het aantonen van niet-ferromagnetische deeltjes berust juist hierop, zodat hiervoor een hogere frequentie in tweeërlei opzicht gunstig is. Voor ijzerdeeltjes daarentegen, die worden aangetoond dank zij hun hoge permeabiliteit, zijn de wervelstromen juist ongewenst, daar zij de effectieve permeabiliteit verkleinen; in dit geval kan men dus met het verhogen van de frequentie niet ver gaan. In verschillende uitgevoerde toestellen hebben wij een frequentie van 1400 Hz gebruikt, waarmede de hierboven vermelde resultaten werden bereikt. Voor de meest voorkomende metalen, waarbij de soortelijke weerstand klein genoeg is om het ontstaan van wervelstromen niet te veel te belemmeren, zoals koper, messing, aluminium, is bij deze frequentie de in de opvangspoelen geïnduceerde spanning ongeveer een vierde gedeelte van die welke ten gevolge van een even groot ijzerdeeltje ontstaat.

Wanneer van het toestel een grote gevoeligheid wordt geëist, dient grote zorg te worden besteed aan de constantheid van de anodespanning van de buizen, daar een kleine variatie van deze spanning hetzelfde effect kan hebben als het passeren van een metaaldeeltje. Zijn echter de te ontdekken deeltjes tamelijk groot, dan is het vaak niet nodig de voedingsspanning te stabiliseren, wat natuurlijk een vereenvoudiging van de installatie betekent.

Fig. 6 is een foto van het generatorgedeelte van een metaaldetector, zoals die hierboven is beschreven, terwijl *fig. 7* het versterkergedeelte weergeeft, waarnaast een spoelenstel is geplaatst.

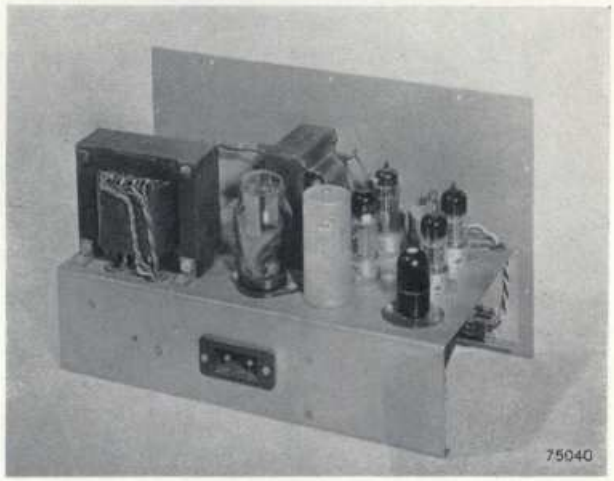


Fig. 6. Foto van het generatorgedeelte van een metaaldetector voor volumineuze materialen.

Fig. 8 geeft een beeld van een metaaldetector, die wordt gebruikt voor de contrôle van het materiaal voor de vervaardiging van grammofoonplaten. Daar hier een grote gevoeligheid wordt geëist bedraagt de doorlaatopening van de spoelen L_1 en L_2 slechts 16 cm².

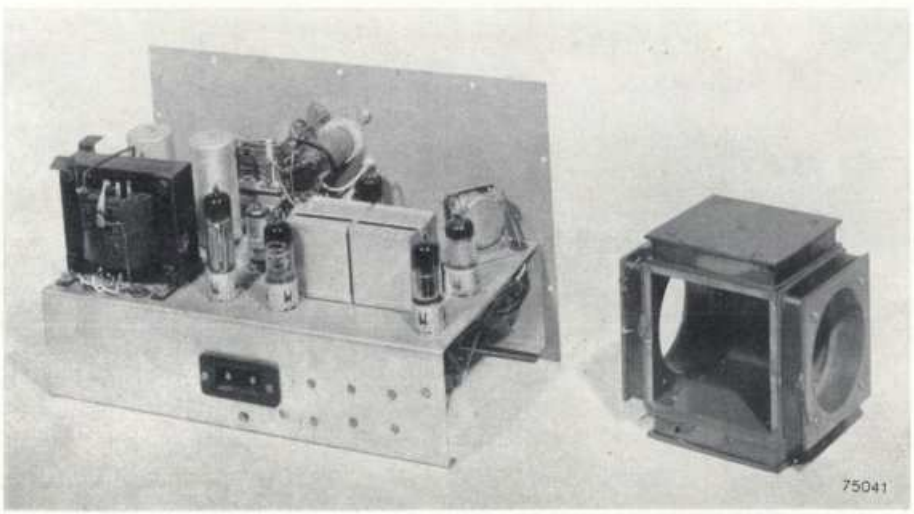


Fig. 7. Foto van het versterker- en detectorgedeelte van een metaaldetector voor volumineuze materialen. Geheel rechts is een spoelenstel geplaatst.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

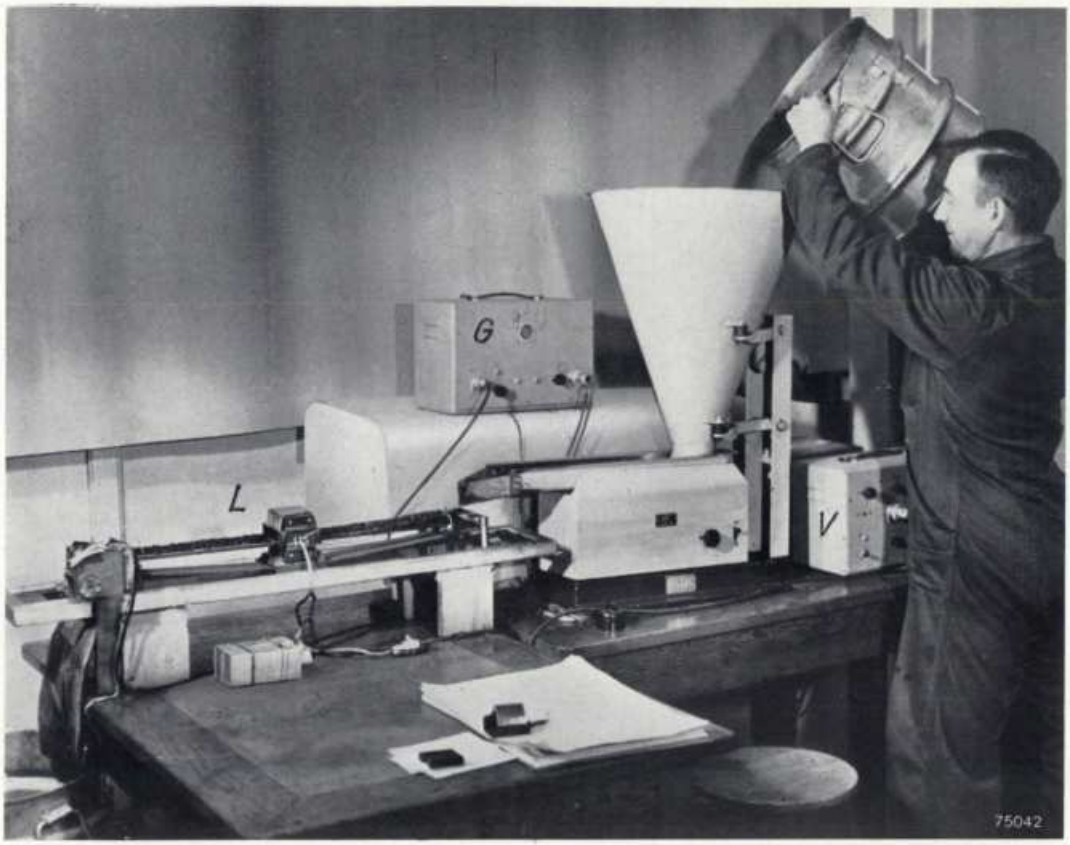


Fig. 8. Metaaldetector voor het onderzoek van het materiaal voor de fabricage van grammofoonplaten. *L* spoelenstel; *G* generatorgedeelte; *V* versterker en detectorgedeelte.

IJzerdetector voor baanvormig materiaal

Beschrijving van het toestel

In de textielindustrie wordt een ruw weefsel veelal onderworpen aan bewerkingen die dienen om de glans te verhogen ofwel het geheel meer gesloten te maken. Hierbij wordt de stof gevoerd door enkele glad gepolijste holle walsen (kalanders), waarvan de cilinders meestal van staal zijn vervaardigd en verwarmd kunnen worden. Ook worden walsen gebruikt die zijn bedekt met hard geperst papier of katoen. Indien nu een metaaldeeltje zich heeft vastgezet op één der walsen, wordt het bij iedere omwenteling afgedrukt op het weefsel, waardoor op regelmatige afstanden beschadigingen ontstaan, die het weefsel onverkoopbaar kunnen maken. Vaak wordt ook de wals beschadigd, zodat deze opnieuw moet worden afgedraaid en gepolijst, wat zeer kostbaar is.

Een andere bewerking waaraan vele weefsels worden onderworpen, is het zg. scheren. Hierbij worden de vezels die uit het oppervlak steken en die de stof een ruw aanzien geven, afgesneden. Het weefsel wordt hiertoe geleid over een wals, waarboven zich een sneldraaiende cilinder bevindt, die bezet is met spiraalvormige messen. Deze messen bewegen zich langs een recht mes, waardoor de uit de stof stekende vezels worden afgeknipt [5]). Een enkel metaaldeeltje dat tussen de messen geraakt, kan hier ernstige schade veroorzaken.

Voor het onderzoek van de brede banen, waarin textielweefsels in de regel worden vervaardigd, is een metaaldetector zoals die hiervoor werd beschreven, minder geschikt. Het is nl. bezwaarlijk aan de spoelen zodanige afmetingen te geven dat een brede weefselbaan hierin kan passeren. Om deze reden is speciaal voor de beveiliging van textielmachines een metaaldetector ontwikkeld die op een ander principe berust. Zoals uit de nadere beschrijving zal blijken, reageert dit toestel alleen op deeltjes die bestaan uit ferromagnetische materialen. Daar echter het merendeel der ongewenste metaaldeeltjes dat in textielweefsels wordt aangetroffen uit ijzer bestaat, kan met behulp van dit apparaat toch een aanzienlijke beveiliging van textielmachines worden bereikt. Tegenover het genoemde nadeel staat het voordeel dat de hierna te beschrijven ijzerdetector veel robuuster en ook eenvoudiger en goedkoper is dan het beschreven toestel voor volumineuze materialen.

[5]) De werking komt overeen met die van een grasmaaimachine.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het principe van de ijzerdetector voor baanvormig materiaal zal worden verklaard aan de hand van *fig. 9*. Een magnetisch circuit bestaat uit de permanente magneten M, de week ijzeren blokjes B en de eveneens uit week ijzer vervaardigde poolschoenen P. Om de blokjes B bevinden zich de spoelen L. Tussen de poolschoenen is een spleet Sp, die ter voorkoming van het indringen van stof en tevens ter verbetering van de mechanische sterkte gesloten is met een hierin gesoldeerde strook messing. Het te onderzoeken weefsel wordt over de aan de buitenzijde glad afgewerkte poolschoenen gevoerd. De poolschoenen kunnen in iedere gewenste lengte worden geconstrueerd, in overeenstemming met de breedte van het te onderzoeken materiaal. De magneten worden op regelmatige afstanden langs de poolschoenen geplaatst; het aantal hiervan neemt dus toe met de breedte van de textielbaan.

Bevindt zich in het weefsel een ijzerdeeltje, dan zal bij het passeren hiervan langs de spleet Sp een verandering van de magnetische flux optreden, waardoor in de spoelen een spanningsstoot ontstaat [6]). De in serie geschakelde spoelen zijn aangesloten op een versterker, waarvan het schema in *fig. 10* is weergegeven. Op de beide trappen, die met de buizen T_1 en T_2 zijn uitgerust, volgt een thyratron T_3, in de anodeketen waarvan een relais is opgenomen, waarmede weer een alarm- of beveiligingsinstallatie in werking kan worden gesteld. Nadat het thyratron is ontstoken, kan dit weer

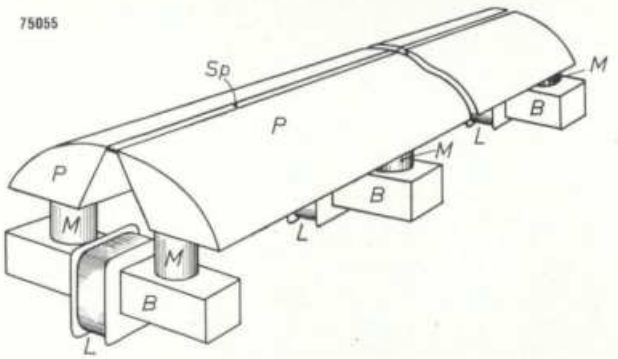


Fig. 9. Principe van een ijzerdetector voor baanvormig materiaal. P poolschoenen; M magneten; B week ijzeren blokjes; L spoelen; Sp spleet tussen de poolschoenen.

worden gedoofd door onderbreking van de anodeketen. Ter vereenvoudiging van de bediening kan de schakeling ook zodanig worden uitgevoerd dat bij het passeren van een ijzerdeeltje de ijzerdetector tegelijk met de motor wordt uitgeschakeld. Wanneer na het verwijderen van het ijzerdeeltje de motor weer wordt ingeschakeld, komt ook de ijzerdetector automatisch weer in werking.

Daar de opstelling, meer dan die welke hiervoor werd beschreven, gevoelig is voor storingen die ontstaan door magnetische wisselvelden van transformatoren en motoren, is tussen de opvangspoelen

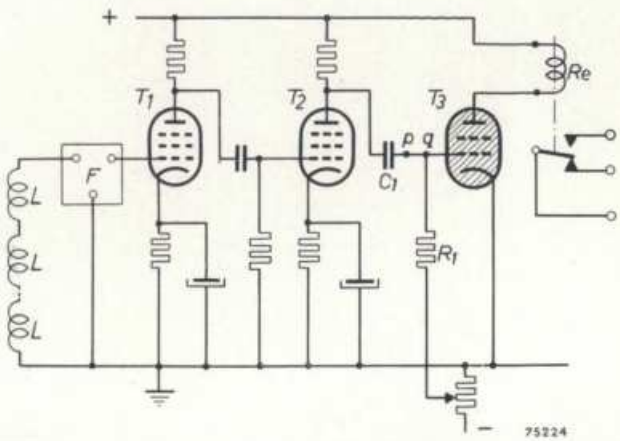


Fig. 10. Schema van het versterkergedeelte van de ijzerdetector voor baanvormig materiaal. T_1 en T_2 versterkbuizen; T_3 thyratron; F filter ter onderdrukking van storende spanningen; Re relais.

en de eerste versterkbuis een filter F opgenomen. De frequentie van de storende wisselvelden is vrijwel altijd 50 Hz, terwijl de spanningsstoten die door een passerend ijzerdeeltje ontstaan, bij de gebruikelijke snelheden waarmede het weefsel wordt voortbewogen (10 tot 20 m/min) voornamelijk componenten met veel lagere frequenties bevatten (5 tot 25 Hz). Door een filter, dat spanningen met een frequentie van 50 Hz onderdrukt, kan nu de invloed van storende wisselvelden in een voor de practijk voldoende mate worden geëlimineerd. Bij proeven in een textielfabriek bleek dat een versterker zonder filter een storende spanning leverde van ongeveer 16 V, die ontstond door in de nabijheid opgestelde motoren. De spanning ten gevolge van een passerend ijzerdeeltje bedroeg ongeveer 15 V. Na aanbrengen van het filter bedroeg de storende spanning nog slechts 1,2 V.

De onderdrukking van storende spanningen kan nog belangrijk worden verbeterd door magnetische afscherming van het filter, waardoor wordt voorkomen dat de storende velden in de filterspoel spanningen induceren. Het is echter in de practijk gebleken dat ook zonder afscherming de verhouding tussen de gewenste spanning en de storende spanningen in vrijwel alle gevallen voldoende groot is. Wij vermelden nog de storende spanning die optrad toen een ijzerdetector, zoals hier beschreven, op verschillende afstanden werd geplaatst van een vol belaste electromotor van 2,5 pk. Op afstanden van 30 cm, 50 cm en 100 cm bedroeg de door de versterker met filter geleverde spanning respectievelijk 8 V, 6 V en 1 V.

[6]) De werking kan worden opgevat als die van een reusachtige weergeefkop van een magnetofoon, waarbij echter het remanente magnetisme niet in de band doch in de kop zit (en constant is).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het is in de practijk noodzakelijk gebleken bij het monteren van een ijzerdetector op een machine de schakelaar voor de motor te overbruggen met een condensator. Wanneer deze maatregel wordt nagelaten, kan het voorkomen dat bij het inschakelen van de motor een zodanige spanningsstoot ontstaat dat de metaaldetector de motor onmiddellijk weer uitschakelt of de alarminrichting in werking stelt. Door het aanbrengen van een condensator met een capaciteit van ongeveer 0,1 μF kan dit echter in vrijwel alle gevallen worden voorkomen.

Daar ook door mechanische trillingen in de spoelen gemakkelijk spanningsstoten kunnen ontstaan, is het aan te bevelen het geheel of ten minste de poolschoenen met permanente magneten en spoelen op verende steunen te monteren.

De gevoeligheid

De grootte van de in de spoelen geïnduceerde spanning neemt toe met de snelheid waarmede een ijzerdeeltje langs de spleet tussen de poolschoenen wordt bewogen en met de grootte van dit deeltje. Om een indruk te geven van de gevoeligheid, is in *fig. 11* uitgezet de topwaarde van de spanningsstoot die aan de uitgangszijde van de buis T_2 wordt verkregen wanneer een ijzerdeeltje van 7 mg zich op een afstand van 3 mm langs de spleet beweegt, als functie van de snelheid van dit deeltje. *Fig. 12* geeft het gewicht van een ijzerdeeltje als functie van de afstand waarop dit langs de spleet moet worden bewogen om aan de uitgang van T_2 een spanningsstoot van 1,5 V te veroorzaken. De snelheid van de verschillende deeltjes was hierbij constant, nl. 15 m/min.

Bij de door ons gekozen uitvoering zijn de buizen T_1 en T_2 met het filter en de bijbehorende schakelelementen met de magneten, spoelen en poolschoenen tezamengebouwd. Het thyratron met het relais en de hierbij behorende schakelapparatuur zijn in een afzonderlijke kast ondergebracht. Hiervoor kan een electronisch relais type GM 4801 worden gebruikt. De voedingsspanningen voor de versterker kunnen in dit geval ook door dit electronische relais worden geleverd. *Fig. 13* is een foto van de beide onderdelen. In *fig. 14* is weergegeven hoe een ijzerdetector op een textielmachine kan worden gemonteerd.

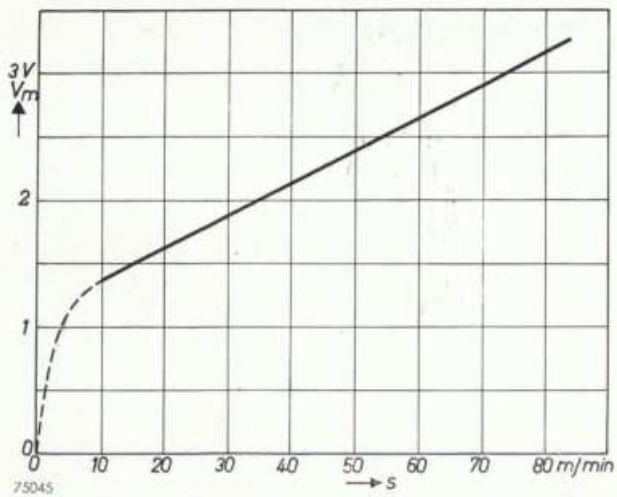


Fig. 11. Grafiek aangevende de topwaarde V_m van de door de buis T_2 geleverde spanningsstoot wanneer zich een ijzerdeeltje van 7 mg op een afstand van 3 mm langs de spleet tussen de poolschoenen beweegt, als functie van de snelheid s van dit deeltje. De breedte van de spleet was hierbij 5 mm.

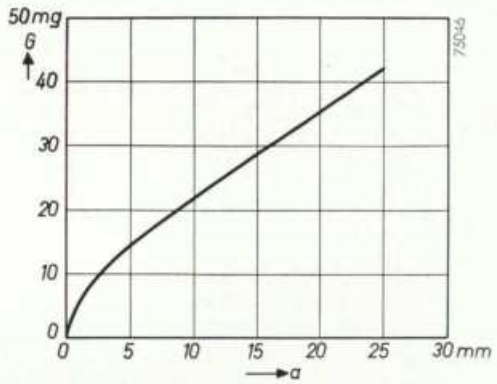


Fig. 12. Grafiek, aangevende het gewicht G van een ijzerdeeltje dat met een snelheid van 15 m per minuut langs de spleet tussen de poolschoenen moet worden bewogen om aan de uitgang van de buis T_2 (zie fig. 10) een spanningsstoot met een topwaarde van 1,5 V te veroorzaken, als functie van de afstand a van dit deeltje tot de spleet. De breedte van de spleet was hierbij 5 mm.

Andere toepassingen van ijzerdetectoren

Behalve voor de beveiliging van textielmachines tegen ijzerdeeltjes, kan het beschreven toestel ook worden gebruikt om te alarmeren of de machine uit te schakelen indien een oneffenheid in het weefsel, bijv. een naad, passeert. Tot dit doel laat men dan een weekijzeren wieltje op de stof lopen ter plaatse van de spleet tussen de poolschoenen. Heeft de stof een constante dikte, dan blijft de afstand tussen de spleet en dit wieltje constant. In de opvangspoelen wordt dan geen spanning geïnduceerd. Passeert echter een oneffenheid in de stof, dan varieert de genoemde afstand en ontstaat in de spoelen een spanningsstoot.

Ook buiten de textielindustrie kan toepassing van een ijzerdetector in aanmerking komen, wanneer het passeren van ijzeren voorwerpen moet worden gesignaleerd. Indien het grote voorwerpen betreft, is dit met de beschreven installatie nog mogelijk op een afstand van de poolschoenen van bijv. 1 m of zelfs meer. Zo zal men het toestel kunnen gebruiken voor tijdopneming bij wedstrijden, voor beveiliging en signalering bij wegverkeer, liften en

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

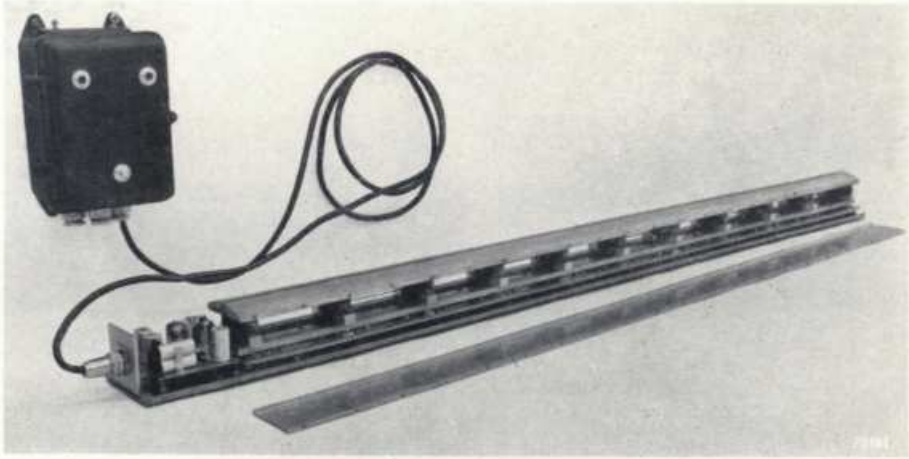


Fig. 13. Foto van een ijzerdetector voor baanvormig materiaal van maximaal 2 meter breedte. De kap van de versterker en de afdekplaten van de poolschoenen zijn weggenomen. Links boven bevindt zich het Philips electronische relais GM 4801.

andere transportsystemen. Een speciale toepassing die hieronder valt, is ook het tellen van passerende voorwerpen, vooral wanneer het „visueel" tellen met behulp van een fotocel belemmerd wordt door mist of door stoomwolken. Zulk een geval doet zich bijv. voor in de conservenindustrie, als men de op een band getransporteerde blikjes wil tellen. In de anodeketen van het thyratron moet dan een telwerk worden opgenomen. Bij deze toepassing doet zich een bijzonderheid voor die een kleine wijziging in de schakeling (fig. 10) nodig maakt en die wij tot besluit nog even willen bespreken.

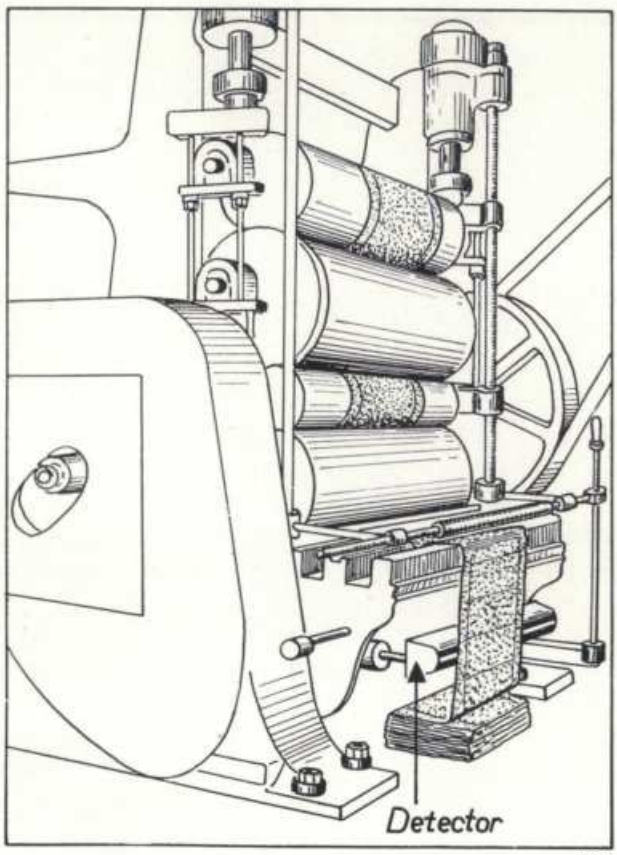


Fig. 14. Textielmachine, waarop een ijzerdetector is gemonteerd.

Bij gebruik van een telwerk moet het thyratron natuurlijk onmiddellijk na het ontsteken weer worden gedoofd. Men kan dit bereiken met behulp van een relais dat bij het opkomen met een geringe vertraging [7]) de anodeketen onderbreekt en bij het afvallen eveneens met enige vertraging deze keten weer sluit. Een moeilijkheid ontstaat dan echter in verband met het feit dat een spanningsstoot die door een langs de poolschoenen bewegend ijzeren voorwerp wordt veroorzaakt, uit componenten met zeer lage frequenties bestaat. Hierdoor is men verplicht de koppelcondensatoren in de versterktrappen een tamelijk grote capaciteit te geven. Na doorslag van het thyratron wordt door de ionenstroom de condensator C_1 geladen tot een gedeelte van de boogspanning. Wordt nu door onderbreking van de anodeleiding het thyratron gedoofd, dan moet deze condensator ontladen worden via de weerstand R_1. Door de grote waarde van het product $R_1 \cdot C_1$ ($C_1 = 0{,}22$ µF en $R_1 = 2{,}2$ MΩ) verloopt na het doven van het thyratron een tijd van ongeveer 1 sec voordat C_1 vrijwel geheel ontladen is. Wordt, voordat dit laatste het geval is, de anodeketen weer gesloten, dan treedt door de nog op het rooster aanwezige positieve spanning opnieuw doorslag van deze buis op, ook zonder dat aan het rooster een positieve spanningsimpuls wordt toegevoerd. Dit zou dus een beletsel zijn voor de hier bedoelde toepassing, en eventueel ook voor

[7]) Deze vertraging is nodig omdat bij het passeren van een ijzeren voorwerp dat niet zeer klein is, vaak meer dan één spanningsstoot ontstaat. Men moet dus voorkomen dat het telwerk bij sommige voorwerpen meermalen aanslaat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

andere waarbij het thyratron snel achtereen wordt in- en uitgeschakeld. Een eenvoudige oplossing werd hier gevonden door in de leiding tussen de in fig. 10 met p en q aangeduide punten een kristaldiode op te nemen, met een zodanige polariteit dat de doorlaatrichting voor de stroom van p naar q is. Een positieve spanningsimpuls wordt dan vrijwel ongehinderd naar het rooster van het thyratron doorgegeven. Om de condensator C_1 na doorslag van het thyratron te laden, moet echter een stroom door de kristaldiode vloeien met een richting tegengesteld aan de doorlaatrichting. Hierdoor wordt de tijd die verloopt voordat C_1 is geladen, vrij lang. Bij toepassingen waarbij het thyratron snel achtereen wordt ontstoken en gedoofd, zal nu de lading van C_1 tot een gedeelte van de boogspanning niet kunnen geschieden, waarmede het boven beschreven bezwaar is opgeheven.

Samenvatting. Er wordt een beschrijving gegeven van een tweetal metaaldetectoren, waarmede installaties worden bedoeld met behulp waarvan de aanwezigheid van ongewenste metaaldeeltjes in niet-metallische stoffen kan worden aangetoond. Het eerste beschreven toestel werd geconstrueerd voor het opsporen van metaaldeeltjes in volumineuze stoffen. De gevoeligheid van dit apparaat is zo groot dat ijzerdeeltjes met een gewicht van 0,1 mg nog kunnen worden gesignaleerd. Voor koper, messing en aluminium is de gevoeligheid ongeveer een vierde van die voor ijzer.

Het tweede toestel is ontwikkeld voor de contrôle van baanvormig materiaal, zoals bijv. textielweefsels, op de aanwezigheid van ijzerdeeltjes. Dit apparaat heeft ten opzichte van het eerder vermelde het voordeel van een eenvoudiger en robuuster constructie; het reageert echter uitsluitend op deeltjes bestaande uit ferromagnetische materialen. Behalve voor de bescherming van textielweefsels en -machines kan men van dergelijke installaties ook gebruik maken voor het tellen van op een transportband passerende ijzeren voorwerpen, waarvoor dit systeem soms voordelen kan hebben ten opzichte van het gebruik van een fotocel. Ook in andere gevallen waar het passeren van ijzeren voorwerpen moet worden gesignaleerd, kan een ijzerdetector worden toegepast, bijv. voor signalering bij wegverkeer, voor tijdopneming bij wedstrijden, enz.

EEN DIRECTZICHTBUIS VOOR TELEVISIEONTVANGERS VAN KLEINE AFMETINGEN

door J. L. H. JONKER.

621.385.832:621.397.62

Over kathodestraalbuizen zijn in dit tijdschrift meermalen artikelen verschenen, en daar het ontwikkelingswerk met volle kracht voortgaat, zijn er ongetwijfeld nog verscheidene te wachten. Een dergelijke ontwikkeling gaat in hoofdzaak langs bepaalde uitgestippelde lijnen, maar vertoont nu en dan zijtakken. Deze laatste voeren vaak niet, doch soms wel tot merkwaardige resultaten. Het onderstaande artikel beschrijft het onderzoek aan zulk een zijtak. Dit heeft weliswaar geen fabricatorisch aanvaarde constructie opgeleverd, maar toch wel een methode die verrassend goed blijkt te werken.

De eerste kathodestraalbuizen waarvan men bij televisieontvangst gebruik heeft gemaakt, verschilden niet van de oscillograafbuizen, welke reeds eerder ingang in de techniek hadden gevonden. Al spoedig echter konden deze niet meer voldoen aan de snel hoger wordende eisen die voor de televisie werden gesteld, zodat zich een afzonderlijke klasse van kathodestraalbuizen ging ontwikkelen, die nu met de naam weergeefbuizen worden betiteld.

Wat deze eisen betreft — in de eerste plaats was (en is) er de vraag van het publiek naar een zo groot mogelijk beeld, bij nog redelijke afmetingen en prijs van het ontvangtoestel. Met het oog op deze afmetingen wenst de toestelontwerper de buis zo klein (vooral zo kort) mogelijk en tevens wil hij, wegens de prijs, kunnen volstaan met een zo gering mogelijk vermogen voor het focusseren en het afbuigen van de electronenbundel. Daarenboven moet de buis er zich toe lenen, met gelijkmatige eigenschappen in massa gefabriceerd te worden.

De laatste jaren kan men bij de weergeefbuizen een duidelijke ontwikkelingsgang waarnemen. Hoewel aan de grondslagen niets werd veranderd, zijn de afmetingen en de vorm zodanig gewijzigd dat aan de bovengenoemde eisen tegenwoordig inderdaad veel beter wordt voldaan dan vroeger. Onder de druk van wat het publiek vraagt, heeft men de grootte van het scherm voortdurend opgevoerd;

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

in Amerika is men zelfs gegaan tot vensters met een diagonaal [1]) van 75 cm [2]). Ware intussen niet tegelijk de verhouding der lengten van buis en schermdiagonaal grondig veranderd, dan had men — ook bij bescheidener beeldgrootten — de toestelkasten zo diep moeten maken dat ze in de meeste huiskamers een sta-in-de-weg zouden hebben gevormd. Vandaar dat verkorting van de weergeefbuis een van de meest nagestreefde doeleinden van de laatste jaren is geweest.

Middelen tot verkorting van de buis

De lengte van een weergeefbuis kan men ruwweg verdelen in drie stukken (*fig. 1*): de lengte (l_1) van de hals, de lengte (l_2) van de conus, en de pijl (l_3) van het venster, dat een zekere kromming moet hebben om bestand te zijn tegen de druk van de atmosfeer.

Elk van deze delen heeft men — in verhouding tot de diagonaal D — getracht te verkleinen. Zo heeft men, door het electronenkanon, de focusseerspoel en de afbuigspoelen zo gedrongen mogelijk te construeren, weten te bezuinigen op de halslengte; wij komen hierop aanstonds nog terug. Het stuk l_3 is kleiner geworden bij die buizen waarvan de conus niet van glas is doch van metaal; het venster behoeft dan namelijk nog maar zwak gebogen te zijn.

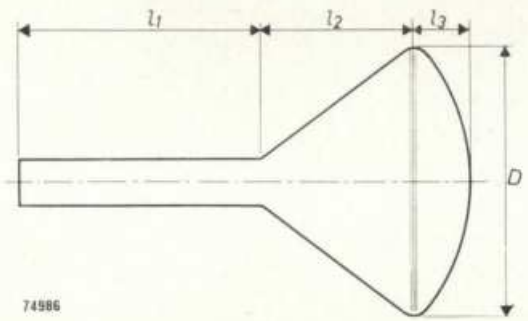


Fig. 1. De lengte van een weergeefbuis is de som van de halslengte (l_1), de conuslengte (l_2) en de pijl (l_3) van het venster. D is de middellijn of de diagonaal van het (ronde of rechthoekige) venster.

Het belangrijkste echter is de verkorting van de conus. Uiteraard gaat deze verkorting samen met een vergroting van de afbuigingshoek α, dit is de hoek tussen de uiterste standen van de afgebogen bundel (*fig. 2*). Geleidelijk is deze hoek vergroot van 50° tot 70° en zelfs tot 90° [3]). Daarmee steeg het aantal ampèrewindingen dat voor de afbuiging nodig is, en wel sterker dan evenredig met α. Dat dit zo is, kan men als volgt inzien. Het punt waar de bundel bij het afbuigen om draait, bevindt zich midden in

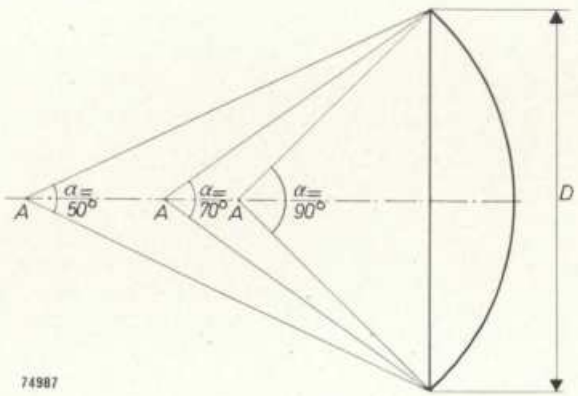


Fig. 2. Verkort men de conus, dan gaat dat, bij constante D, gepaard met een vergroting van de afbuigingshoek α. Deze hoek bedroeg bij oudere buizen ca. 50°. Bij moderne buizen is α = 70° tot 90°.

de afbuigspoelen. Vergroot men de afbuigingshoek α, dan moeten, zoals blijkt uit *fig. 3*, de afbuigspoelen korter worden. Dit betekent dat de electronen dan over een kleinere baanlengte aan de invloed van het afbuigveld zijn onderworpen, dus dat een versterking van dit veld evenredig met α niet voldoende is.

Het grotere aantal ampèrewindingen zal in het algemeen een groter vermogen vergen. Door verschillende maatregelen echter is het gelukt, dit vermogen weer te verkleinen. De voornaamste

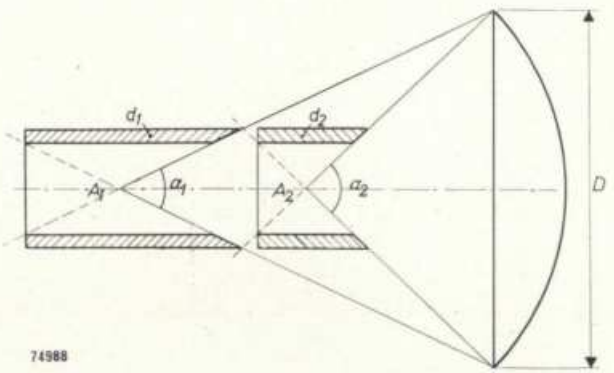


Fig. 3. Vergroot men de afbuigingshoek van α_1 tot α_2, dan moeten de afbuigspoelen (d_1, d_2) korter worden, daar het draaipunt (A_1, A_2) van de bundel steeds midden in de spoelen ligt.

[1]) Meer en meer wordt overgegaan van ronde op rechthoekige vensters. Daardoor bespaart men de ruimte welke bij ronde vensters wordt ingenomen door de segmenten die voor het rechthoekige beeld ongebruikt bleven.

[2]) Een andere methode om een groot beeld te krijgen is de projectiemethode (zie bijv. Philips techn. T. **10**, 97-106, 1948). Deze blijft in dit artikel buiten beschouwing.

[3]) L. E. Swedlund en H. P. Steiner, Short 16-in. metal-cone kinescope development, Tele-Tech **9**, 40-43 en 59-60, Aug. 1950.
H. W. Grossbohlin, The design of 90° deflection picture tubes, Tele-Tech **10**, 42-44, Aug. 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

middelen die men heeft aangewend zijn de volgende:

1) Voor het opwekken van de afbuigstromen zijn zg. spaarschakelingen uitgewerkt, waarmee een groot deel van de magnetische energie die in het afbuigveld is opgehoopt, wordt teruggewonnen [4]).
2) De verliezen in de afbuigspoelen zijn verkleind, o.a. door het gebruik van Ferroxcube.
3) Voor de spaarschakelingen zijn speciale versterkbuizen ontwikkeld (types als PL 81 en PL 82), waarmee een hoger rendement kan worden bereikt.
4) Een besparing aan vermogen dat voor de afbuiging nodig is, kan in eerste instantie ook worden verkregen door de halsdiameter van de weergeefbuis te verkleinen, voor zover de mechanische sterkte dit toelaat. Naar echter uit *fig. 4* blijkt, leidt het dunner maken van de hals tot een korter worden van de afbuigspoelen. Nu is, zoals we zoëven hebben gezien, een korte spoel ongunstig, zodat de besparing kleiner is dan men zou verwachten. Dit schadelijke effect kan min of meer worden opgeheven door de conus en de hals op een bepaalde manier geleidelijk in elkaar te doen overgaan en de afbuigspoelen bij deze vorm aan te passen [5]).

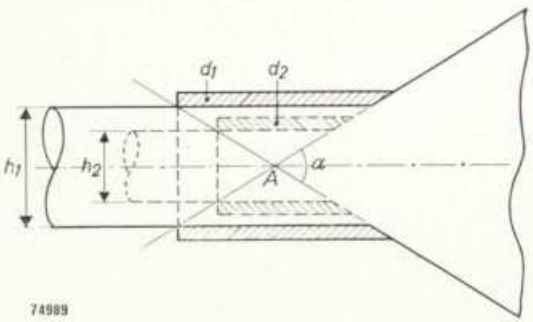


Fig. 4. Verkleint men de halsdiameter van h_1 tot h_2, dan moeten de afbuigspoelen (d_1, d_2), bij gelijke hoek α, korter worden.

Al deze maatregelen nemen echter niet weg, dat het vermogen dat voor de afbuiging nodig is, een rem is op het vergroten van de hoek α. Niet de enige rem trouwens. Naarmate men α vergroot, treden meer en meer twee schadelijke effecten op, die slechts kunnen worden bestreden door de bundel slanker te maken. Afgezien van maatregelen bij het focusseren, kan dit alleen geschieden door de bundelstroom te verkleinen, wat echter de helderheid van het beeld vermindert, of door de anodespanning te verhogen, hetgeen kosten meebrengt. Men bereikt dus al spoedig een practische grens van de bundelslankheid, en daarmee van de hoek α.

De zoëven bedoelde schadelijke effecten zijn de volgende. Maakt men de conus korter, brengt men dus het draaipunt A (fig. 2) van de bundel dichter bij het venster, dan gaat het oppervlak dat het focus bij afbuiging beschrijft, meer van het vensteroppervlak afwijken, zodat de bewegende lichtstip meer in grootte zal fluctueren. Om deze afbuigingsdefocussering zo gering mogelijk te houden, moet men de bundel een zo groot mogelijke scherptediepte geven, dus hem zo slank mogelijk maken [6]).

Het tweede schadelijke effect dat met toenemende hoek α meer op de voorgrond gaat treden, hangt samen met de volgende kwestie. De afbuigspoelen worden zo gedimensionneerd dat het afbuigveld niet homogeen is, en wel dusdanig dat de kussenvormige vertekening van het beeld, die zou optreden doordat het oppervlak dat het focus beschrijft, niet met het scherm samenvalt, zo goed mogelijk wordt opgeheven. Het veld moet daartoe zwakker zijn in punten die verder van de as af liggen. Doch als de bundel door een niet-homogeen veld gaat, treedt een zekere aberratie op — des te sterker naarmate de afbuiging groter is —, doordat niet alle delen van de bundel gelijkelijk worden afgebogen. Hoe slanker de bundel is, des te geringer deze aberratie.

De conclusie is derhalve, dat vergroting van de afbuigingshoek α gepaard gaat met een waardevolle verkorting van de buis, maar ook met storende bijverschijnselen, waartegen maatregelen moeten worden genomen. Het lijkt ons twijfelachtig of men met α veel verder dan de reeds zeer grote waarde van 90° zal kunnen gaan.

Beschouwen we nu de verkorting van de hals wat nader. Deze is mogelijk geworden, ten dele door de reeds besproken verkorting van de afbuigspoelen, ten dele door verkorting van het electronenkanon. Wat dit laatste betreft, het zijn vooral twee onderdelen die de laatste jaren wijzigingen hebben ondergaan, namelijk de focusseerinrichting en de ionenval. We zullen deze afzonderlijk bespreken.

Focusseerinrichting

Het focusseren van de electronenbundel kan geschieden door een magnetische lens, door een electrostatische lens of door een combinatie van beide. Voor weergeefbuizen is de eerstgenoemde het gebruikelijkst.

---

[4]) Zie bijv. J. Haantjes en F. Kerkhof, Philips techn. T. **10**, 307-317, 1948. Over nieuwere spaarschakelingen zal wellicht nog in dit tijdschrift worden gepubliceerd.

[5]) C. V. Bocciarelli, Low-power deflection for wide-angle C-R tubes, Electronics **25**, 109-111, Sept. 1952.

[6]) In Philips techn. T. **14**, 377, 1952 (No. 12), is een afbeelding gegeven van een contrôle op afbuigingsdefocussering.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

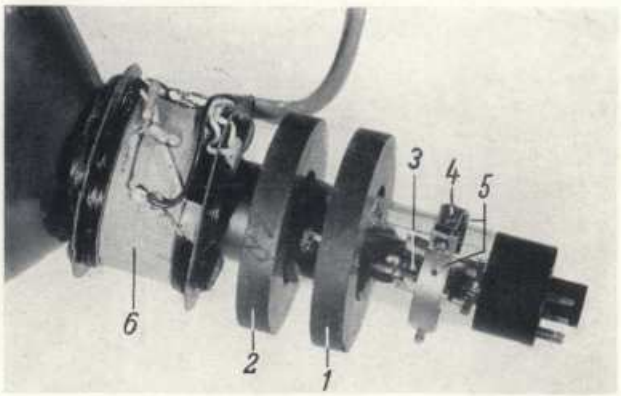
Door de boven besproken verkorting van de conus heeft men het focus dichter bij de lens gebracht; de beeldafstand is dus verkleind, dwz. de lens is sterker moeten worden. Gaat men de hals verkorten, dwz. de voorwerpsafstand verkleinen, dan moet de lens wederom sterker worden. Indien het magnetische veld wordt opgewekt door een spoel, betekent het sterker maken van de lens dat het bekrachtigingsvermogen moet worden vergroot, en daartoe gaat men ongaarne over.

In verschillende richtingen heeft men een oplossing voor deze moeilijkheid gezocht. Eén methode bestaat hierin dat men de magnetische lens combineert met een electrostatische voorfocussering, waarbij de magnetische lens minder sterk behoeft te zijn. Een bezwaar is echter, dat ter plaatse van de electrostatische lens het lekveld van de magnetische lens verwaarloosbaar klein moet zijn, omdat anders bij onvolkomen centrering astigmatisme zou optreden. Dit vergt een zekere halslengte, die de verkregen verkorting grotendeels te niet doet.

Een soortgelijke moeilijkheid doet zich voor bij de geheel electrostatische focussering, die de laatste jaren onder ogen is gezien uit hoofde van materiaalbesparing [7]). Daarbij is het het lekveld van de afbuigspoelen dat uit de electrostatische lens verwijderd gehouden moet worden. Er zijn bijzondere constructies nodig om dit te bewerkstelligen, en deze vergroten de halslengte.

De fraaiste oplossing is wellicht die met permanente magneten. Er is dan geen bekrachtiging meer nodig en men bespaart een aanzienlijke hoeveelheid koper. Kostbare magneetstaalsoorten behoeven er niet aan te pas te komen sinds men beschikt over het niet-metallische materiaal Ferroxdure, dat geen moeilijk verkrijgbare grondstoffen zoals cobalt of nikkel bevat [8]).

Fig. 5 laat een focusseerinrichting met Ferroxdure-magneten zien. Ze bestaat uit twee, in axiale richting gemagnetiseerde, platte ringen van Ferroxdure. Deze zijn, met gelijknamige polen naar elkaar toe gekeerd, op de hals van de weergeefbuis geschoven. Door de onderlinge afstand van de ringen te veranderen, kan men het juiste veldverloop instellen. De grote coërcitiefkracht van Ferroxdure maakt dit materiaal geschikt om in de vorm van platte ringen of schijven te worden gemagnetiseerd in de dikterichting [9]). Deze vorm is in ons geval, waar we de axiale lengte zo klein mogelijk willen houden, zeer gunstig.



74991

Fig. 5. Weergeefbuis waarin de electronen worden gefocusseerd door twee schijfvormige magneten (*1*, *2*) van Ferroxdure. De schijven zijn gemagnetiseerd in de asrichting van de buis en met gelijknamige polen naar elkaar toe gekeerd.
3 electronenkanon met ionenvalmagneet, bestaande uit een stukje magneetstaal (*4*) met twee poolschoenen (*5*). *6* afbuigspoelen.

Ionenval

Tijdens het werken van een weergeefbuis ontstaan er negatieve ionen, die voortkomen uit gasresten of uit de kathode. Daar de ionen een veel grotere massa hebben dan de electronen, worden zij door het veld van de afbuigspoelen bijna niet afgebogen. Indien er geen maatregelen tegen waren genomen, zouden zij dus voortdurend het midden van het scherm treffen, dat daar ter plaatse chemisch zou worden aangetast en in luminescentievermogen zou achteruitgaan. Het beeld zou dan op den duur in het midden een donkere vlek gaan vertonen, de zg. ionenvlek.

Om het ontstaan van een ionenvlek te voorkomen, voorziet men in de regel het electronenkanon van een ionenval. Dit is een inrichting die juist berust op de genoemde omstandigheid dat door een magnetisch veld de ionen veel minder worden afgebogen dan de electronen, maar dat in een electrisch veld de afbuiging van beide soorten deeltjes gelijk is. *Fig. 6a* is een schets van een oude uitvoering van een ionenval. Een electrostatische lens buigt hier de electronen- en de ionenbanen van de as af. Verderop wordt de electronenbundel door tweemaal ombuigen, met behulp van twee permanente magneetjes, in de as van de buis teruggebracht, terwijl de ionen de tweede versnellingselectrode (anode) treffen en daar onschadelijk worden gemaakt.

[7]) L. E. Swedlund en R. Saunders Jr., Material-saving picture tube, Electronics **24**, 118-120, April 1951.
C. S. Szegho, Cathode-ray picture tube with low focusing voltage, Proc. Inst. Rad. Engrs. **40**, 937-939, 1952 (No. 8).
C. T. Allison en F. G. Blackler, A univoltage electrostatic lens for television cathode-ray tubes, Conv. Brit. Contrib. Telev., 1952, art. R8-1333.

[8]) J. J. Went, G. W. Rathenau, E. W. Gorter en G. W. van Oosterhout, Philips techn. T. **14**, 33-48, 1952 (No. 2).

[9]) Zie het in noot [8]) aangehaalde artikel, blz. 35.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Een verkorting van de hals kon worden bereikt door het eerste gedeelte van het electronenkanon — namelijk de kathode, het stuurrooster en de eerste versnellingselectrode — scheef ten opzichte van de as op te stellen (fig. 6*b* en fig. 5), waardoor

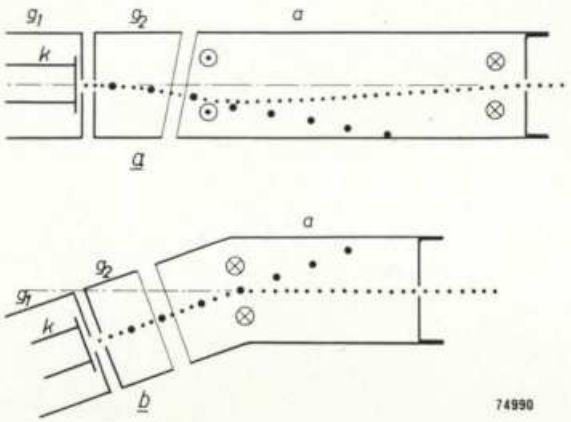


Fig. 6. Een oude (*a*) en een nieuwe (*b*) constructie van een ionenval. *k* kathode. g_1 stuurrooster (wehneltcilinder). g_2 eerste versnellingselectrode (op lage positieve potentiaal). *a* tweede versnellingselectrode (anode, op hoge positieve potentiaal). Fijne stippels: electronen. Dikke stippels: negatieve ionen.

Werking van (*a*): De scheve spleet tussen g_2 en de anode *a* geeft het electrische veld een component loodrecht op de as van de buis. Deze component buigt de electronen- en de ionenbanen in gelijke mate van de as af. Een magnetisch veld (⊙) loodrecht op de as brengt de electronen naar de as terug, maar heeft nagenoeg geen invloed op de richting van de ionen. Deze treffen de anode en worden daar onschadelijk gemaakt. Een tweede magnetisch veld (⊗), tegengesteld aan het eerste, buigt de electronenbanen om tot ze evenwijdig aan de as lopen.

Werking van (*b*): *k*, g_1, g_2 en het eerste gedeelte van de anode *a* zijn hier opgesteld met hun as onder een zekere hoek met de as van de buis. Slechts één magneetveld (⊗) is nodig om de electronenbanen evenwijdig aan de as van de buis te doen lopen. De ionen ondervinden van dit veld nagenoeg geen invloed en vallen dus ook in dit geval op de anode.

éénmaal minder behoeft te worden omgebogen, zodat één magneet kan vervallen.

De inductie die de ionenvalmagneet moet leveren, bedraagt $3{,}5\cdot10^{-3}$ tot $6\cdot10^{-3}$ Wb/m² (35 tot 60 gauss). Gewoonlijk gebruikt men hiervoor een stukje magneetstaal (*4*, fig. 5).

Een functie van de ionenval die in de naam niet tot uitdrukking komt, maar in de practijk minstens even belangrijk is als het onschadelijk maken van ionen, is het dienst doen als correctiemiddel, om, nadat de afbuigspoelen en de focusseerinrichting op de buis zijn gemonteerd, de bundel zuiver te centreren; er treedt namelijk vertekening op indien de bundel scheef door de afbuigspoelen loopt. Dank zij deze instellingsmogelijkheid kan men eventuele kleine afwijkingen achteraf nog corrigeren.

Buis met omgebogen hals

In het bovenstaande hebben wij laten zien waarop verdere verkorting van de buizen heden ten dage stuit. Verwacht mag worden dat sommige van deze bezwaren in meerdere of mindere mate zullen worden overwonnen. Op speculaties dienaangaande willen wij hier niet ingaan, maar liever een beschrijving geven van een buis die aanzienlijk korter is dan de buizen van het conventionele type en bij wijze van experiment in het Philips Laboratorium te Eindhoven is uitgewerkt.

Aanknopende bij de ionenval, waarin de electronenbundel een permanente afbuiging ondergaat, is het denkbeeld ontstaan, de hals van de buis over 90° of meer om te buigen en met behulp van een magneet de bundel dezelfde bocht te doen maken. Op die wijze kan de

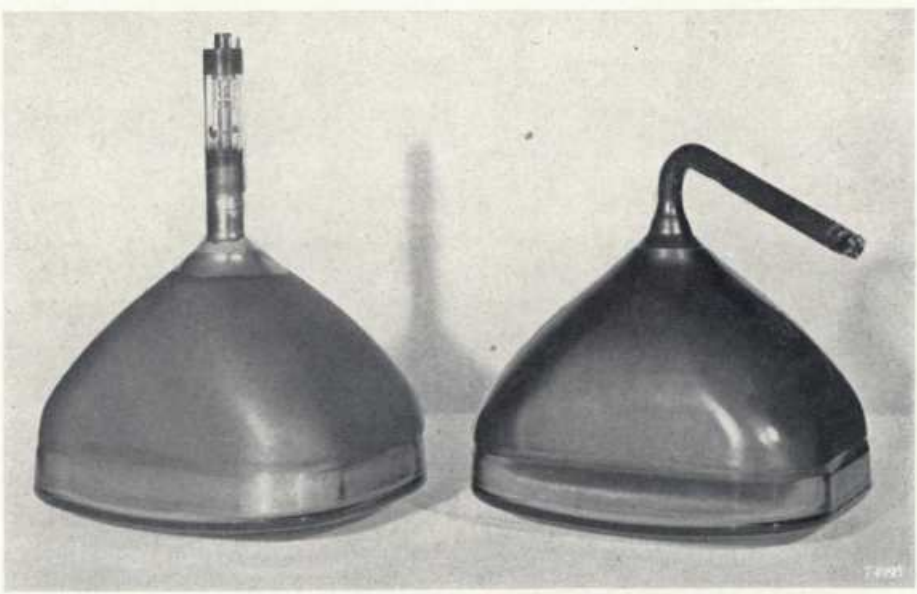


Fig. 7. Links een normale weergeefbuis (type MW 36-22). Rechts een experimentele buis, waarvan de hals, ter verkleining van de buislengte, is omgebogen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

axiale lengte aanmerkelijk worden verkleind (*fig. 7*), terwijl de bocht tevens als ionenval werkt [10]).

De geschiktste plaats voor de bocht is tussen de focusseerinrichting en de afbuigspoelen. Deze laatste moeten dus zo zijn geconstrueerd dat zij de bocht kunnen passeren, wat zeer goed uitvoerbaar is gebleken.

Voor het ombuigen van de bundel gebruikten wij een kleine permanente magneet (*fig. 8a* en *b*), die een inductie levert van omstreeks $7 \cdot 10^{-3}$ Wb/m² (= 70 gauss). Door de plaats en de sterkte van het veld in te stellen (de sterkte met behulp van een magnetische shunt), kan men, evenals bij een gewone ionenval, de bundel zo richten dat hij precies langs de as door het stel afbuigspoelen heen loopt. Om astigmatisme te vermijden, moet men aan het ombuigveld de eis stellen dat het symmetrisch is

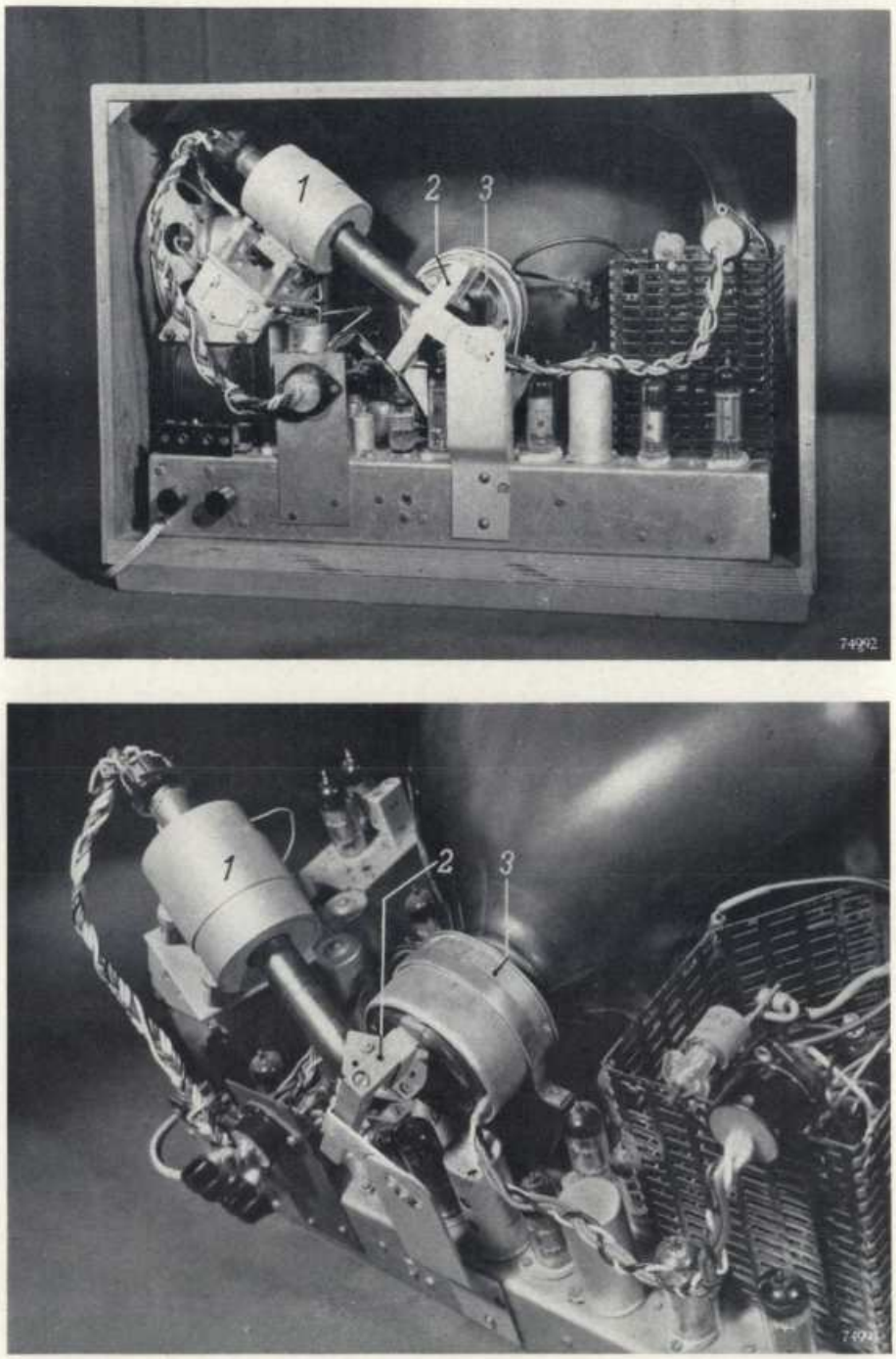


Fig. 8. De buis met omgebogen hals gemonteerd in een televisieontvanger. *1* focusseerspoel, *2* ombuigmagneet, die de bundel de bocht in de hals doet volgen. *3* afbuigspoelen.

[10]) In Proc. Inst. Rad. Engrs. **36**, 1485 (fig. 4), 1948, is een buis afgebeeld waarvan de hals over een kleine hoek is gebogen, uitsluitend om het effect van een ionenval te verkrijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ten opzichte van het vlak dat de ombuigingshoek middendoordeelt. Het is niet moeilijk hieraan te voldoen. Een slanke bundel is hier eveneens gunstig.

Voor de in fig. 7 afgebeelde proefbuis hebben wij zoveel mogelijk normale onderdelen van de buis MW 36-22 gebruikt, namelijk het venster (25 cm × 32,5 cm), de conus, het electronenkanon (zonder ionenval) en de afbuigspoelen. Ook de afbuigingshoek had de gebruikelijke waarde (65°), zodat met het normale afbuigingsvermogen kon worden volstaan. Speciaal ontworpen werden alleen de focusseerspoel en de ombuigmagneet.

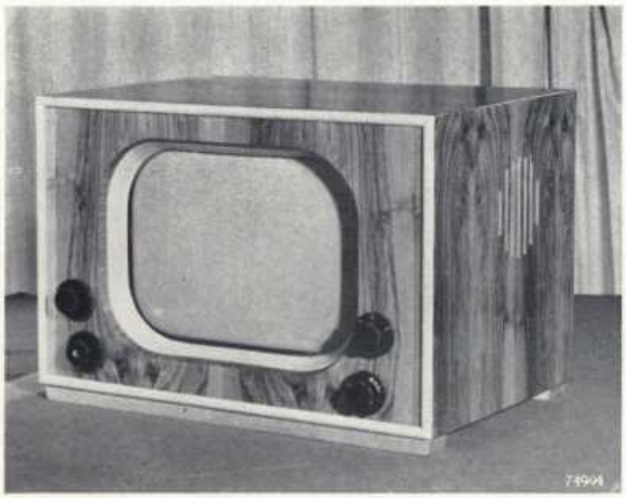


Fig. 9. De ontvanger van fig. 8, van voren gezien. De luidspreker is opzij aanbracht.

De lengte van het omgebogen halsgedeelte is niet van invloed op de diepte van de kast en kan dus zonder bezwaar groter worden gemaakt dan bij een buis met rechte hals. Dit is bij onze buis ook gedaan (fig. 7), want men kan dan een betere focussering bereiken, aangezien de afstand van „voorwerp" tot lens groter is, de vergroting dus geringer wordt en de lichtstip kleiner. Tevens kan men dan de focusseerspoel lang en derhalve van kleine diameter maken. Door de hals meer dan 90° om te buigen kan men nu de focusseerspoel geheel binnen de maximale lengte van de buis doen vallen; bepalend voor de diepte van de kast is dan alleen de lengte van de buis, en niet deze lengte plus de dikte van de spoel.

De richting waarin men de hals ombuigt kan men vrij kiezen. Bij onze buis is de hals gebogen in het vlak door een diagonaal van het venster, omdat in die richting in de kast de meeste ruimte beschikbaar is (fig. 8*a*).

Een ombuiging in het horizontale vlak zou ook voordelen hebben. Ten eerste zou dan de ondersteuning van focusseerspoel en ombuigmagneet op het chassis gemakkelijker zijn aan te brengen. Het tweede voordeel hangt hiermee samen dat, bij gebruik van een permanente ombuigmagneet, het beeld zich enigszins over het scherm verplaatst wanneer de hoogspanning verandert. Bij een horizontaal omgebogen hals zou het beeld zich horizontaal verplaatsen, wat minder stoort dan een verplaatsing evenwijdig aan de diagonaal, zoals nu optreedt.

Opgemerkt zij nog, dat men deze verplaatsingen geheel kan voorkomen indien men een gestabiliseerde hoogspanningsgelijkrichter gebruikt, waarvan de uitgangsspanning zowel bij schommelingen van de netspanning als van de belasting constant blijft [11]).

Met deze buis is een televisieontvanger geconstrueerd (*fig. 9*), die de volgende afmetingen heeft:

grondvlak { diepte . . . . 34,5 cm,
grondvlak { breedte . . . 50 cm,
hoogte . . . . . 36 cm,

dus niet groter dan een middelmatig radiotoestel. De hoogte kon zo klein worden gehouden doordat de luidspreker niet onder de weergeefbuis is aangebracht, maar, zoals wel meer wordt gedaan, in een van de zijwanden (zie ook fig. 8*a*).

Het vervaardigen van de buis met omgebogen hals is niet meer dan een experiment geweest. Men moet voorlopig niet verwachten dat een dergelijke buis in fabricage zal komen. Al zal een practische toepassing dus nog wel op zich laten wachten, wij hebben toch gemeend een beschrijving van dit laboratoriumproduct niet achterwege te moeten laten.

Aan de vervaardiging van de buis en het toestel hebben medegewerkt de heren Dammers, Diemer, Neeteson en De Weyer.

[11]) Zie bijv. J. J. P. Valeton, Philips techn. T. **14**, 1-13, 1952 (No. 1).

Samenvatting. Als gevolg van de vraag naar een groter televisiebeeld is bij de weergeefbuizen voor direct zicht een ontwikkeling naar steeds grotere vensters ingetreden. Dit ging uiteraard gepaard met een toenemen van de buislengte. Deze lengte bepaalt de diepte van de toestelkast en zo dreigden de kasten lomp van afmetingen te moeten worden. De laatste jaren wordt er dan ook alom naar gestreefd, de buislengte in verhouding tot de beeldafmetingen te verkleinen. Enige middelen daartoe passeren de revue: verkorting van de conus (gepaard met een grotere afbuigingshoek), minder bol venster (dank zij een metalen conus), focussering van de electronenbundel door permanente magneten van Ferroxdure, vereenvoudigde ionenval, enz.

Vervolgens wordt een in het laboratorium vervaardigde experimentele buis beschreven waarvan de hals over meer dan 90° is omgebogen. Dit levert een zeer belangrijke verkorting. Een permanente magneet dwingt de electronenbundel tot het volgen van dezelfde bocht. Met deze buis is een toestel geconstrueerd dat slechts 34,5 cm diep is (minder dan de diagonaal van het venster) en ook overigens klein van afmetingen: breedte 50 cm, hoogte 36 cm. De afbuigingshoek heeft een normale waarde (65°).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN STRALINGSMETER MET VOEDING DOOR BATTERIJEN

door G. HEPP. 621.317.7:539.16.08:621.353:621.387.424

De ontwikkeling van de Geiger-Müller-telbuis in de laatste jaren is gekenmerkt door zijn aanpassing bij in wetenschap en techniek optredende problemen. Hierdoor kunnen telbuizen tegenwoordig voor vele doeleinden op eenvoudige wijze worden toegepast. Voor verschillende van deze doeleinden is het gewenst om te beschikken over een klein en gemakkelijk transportabel apparaat. In dit artikel wordt een stralingsmeter beschreven die is ingericht voor voeding door batterijen en die door zijn kleine afmetingen en beperkt gewicht voor vele onderzoekingen een belangrijk hulpmiddel kan zijn.

Het steeds uitgebreider wordende toepassingsgebied van radioactieve stoffen en van toestellen die ioniserende stralen uitzenden (röntgenbuizen, cyclotrons, betatrons enz.) schept een groeiende vraag naar eenvoudige, gemakkelijk bedienbare apparaten waarmede radioactieve straling kan worden aangetoond en gemeten. Dergelijke apparaten vinden o.a. toepassing bij het onderzoek naar de aanwezigheid van radioactieve ertsen en voor het meten van de sterkte van straling in laboratoria met het oog op de bescherming van het personeel tegen een te intensieve of te lang voortgezette bestraling. Ook bij het opsporen van zoekgeraakte radioactieve preparaten, bijv. in een ziekenhuis, kan een stralingsmeter goede diensten bewijzen. Als voorbeeld uit de vele toepassingen die meer op het gebied der techniek liggen, noemen wij de mogelijkheid om de hoogte van een vloeistofniveau in een reservoir te bepalen door middel van een drijver die een radioactief preparaat bevat. De plaats van deze drijver kan dan met behulp van een stralingsmeter worden vastgesteld (het voordeel van deze methode ten opzichte van verschillende andere is het feit dat geen enkele doorvoering door de wand van het reservoir nodig is).

In dit artikel zal een beschrijving worden gegeven van een stralingsmeter die is ingericht voor voeding door batterijen. Dank zij het geringe stroomverbruik kunnen de zeer kleine batterijtypen worden gebruikt, die o.a. worden toegepast in hoorapparaten, waardoor een zeer compact geheel is verkregen. Het apparaat is uitgerust met een Geiger-Müller-telbuis, waarin als doofgas een halogeen is gebruikt [1]).

Principe van het apparaat

Het meten van straling met behulp van een Geiger-Müller-telbuis gebeurt in het algemeen als volgt. Iedere ontlading in de buis doet over een hiermede in serie geschakelde weerstand een spanningsstoot ontstaan. Deze spanningsstoten worden toegevoerd aan een schakeling die ze omzet in stroomstoten waarvan de amplitude en tijdsduur onafhankelijk zijn van de sterkte van de ontladingen in de telbuis. Deze sterkte is nl. afhankelijk van de grootte van de aan de telbuis gelegde spanning en ook van de eigenschappen van de buis. Het eerste bezwaar zou men wel kunnen ondervangen door de voedingsspanning nauwkeurig te stabiliseren, doch bij voeding uit batterijen leidt dit tot een ontoelaatbare vergroting van het opgenomen vermogen, en wegens het tweede genoemde bezwaar verdient het „normaliseren" van de spanningsstoten in het algemeen toch de voorkeur.

De „genormaliseerde" stroomstoten worden nu toegevoerd aan een condensator, die door een weerstand wordt ontladen, waarbij de ontlaadstroom met een gelijkstroommeter wordt gemeten. Daar de ontladingen in de telbuis op willekeurige tijdstippen optreden, zal de sterkte van de stroom waarmede de condensator wordt geladen, aan fluctuaties onderhevig zijn [2]). Door echter de capaciteit C van de genoemde condensator en de ontlaadweerstand R zo groot te kiezen dat het product RC groot is ten opzichte van de gemiddelde tijd tussen twee impulsen, wordt een zodanige traagheid bereikt, dat de meteruitslag onafhankelijk wordt van de variaties die optreden in de gemiddelde waarde van de laadstroom.

Voor het opwekken van de spanning voor de Geiger-Müller-buis bestaan verschillende mogelijkheden:

1) Het gebruik van een batterij welke direct de vereiste hoge spanning levert. Deze oplossing voert tot een zwaar en groot apparaat en tot

[1]) Zie: N. Warmoltz, Geiger-Müller-tellers, Philips techn. T. **13**, 259-270, 1951.

[2]) Voor een berekening betreffende deze fluctuaties zie: J. F. H. M. Stumpers, Philips Res. Rep. **5**, 270-281, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

vrij hoge kosten voor het vernieuwen van de batterijen.

2) Het gebruik van een vibrator, gevoed door een laagspanningsbatterij. Een dergelijke vibrator vereist een vrij groot vermogen om de beweging van de contactveren gaande te houden.

3) Het gebruik van een oscillator, die wordt gevoed door dezelfde batterij als de buis met behulp waarvan de spanningsstoten worden omgezet in „genormaliseerde" stroomstoten. Ook deze oplossing lijkt op het eerste gezicht niet zeer aantrekkelijk, daar nu een extra buis nodig is, waardoor de anodebatterij en de gloeistroombatterij zwaarder worden belast. Het is echter mogelijk gebleken deze bezwaren geheel te ondervangen door één buis voor de beide genoemde functies te gebruiken, waarbij *de oscillator alleen werkt op de momenten waarop een ontlading in de Geiger-Müller-buis optreedt*. Hierdoor is het anodestroomverbruik zeer gering, zodat een lange levensduur van de anodebatterij is gegarandeerd.

Nadere uitwerking van het principe

De werking van de stralingsmeter zal worden uiteengezet aan de hand van *fig. 1*, waarin een vereenvoudigd schema is voorgesteld. De Geiger-Müller-telbuis GM is, in serie met de weerstand R_1, parallel

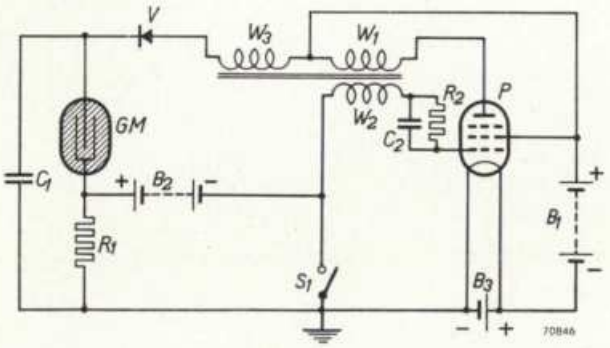


Fig. 1. Principeschema van een stralingsmeter, gevoed door batterijen. GM Geiger-Müller-buis, P penthode, V ventiel, B_1 anodebatterij, B_2 blokkeerbatterij, B_3 gloeistroombatterij, S_1 startschakelaar.

geschakeld met de condensator C_1, welke in normale toestand is geladen tot een spanning die groot genoeg is om in de Geiger-Müller-buis bij het invallen van een ioniserend deeltje een zelfstandige ontlading van korte duur te veroorzaken. Bij iedere ontlading zal de condensator C_1 een zekere lading afstaan en de spanning zal dus telkens een weinig dalen. Via het ventiel V wordt nu steeds wanneer door een ontlading in de Geiger-Müller-buis een bepaalde lading aan C_1 is onttrokken, deze condensator weer tot de vereiste spanning geladen. De stroomstoot die via het ventiel V deze herlading van de condensator veroorzaakt, wordt verkregen met behulp van de penthode P, waarvan de schakeling overeenkomt met die van een zg. blokkeeroscillator („blocking oscillator"). Het principe waarop deze schakeling berust werd reeds eerder in dit tijdschrift beschreven [3]).

Wanneer de schakelaar S_1 is gesloten (en dus de batterij B_2 geen invloed op de schakeling uitoefent), treden in de anodeketen van P met regelmatige tussenpozen stroomimpulsen op. De tijd die verloopt tussen twee impulsen is voornamelijk bepaald door de capaciteit C_2 en de grootte van de weerstand R_2. Op de transformator die wordt gevormd door de anodespoel W_1 en de roosterspoel W_2 is een derde wikkeling W_3 aangebracht, waarmee het ventiel V in serie is geschakeld. Telkens wanneer in de anodeketen van P een stroomimpuls optreedt, wordt in de wikkeling W_3 eveneens een stroomimpuls geïnduceerd, waardoor via het ventiel V een lading aan de condensator C_1 wordt toegevoerd.

De functie van de batterij B_2 is, te verhinderen dat in P stroomimpulsen ontstaan als in de telbuis geen ontladingen optreden. Door deze batterij wordt nl. het rooster op een zo grote negatieve spanning ten opzichte van de kathode gebracht dat het oscilleren wordt verhinderd (als de schakelaar S_1 geopend is). Een ontlading in de Geiger-Müller-buis doet op de weerstand R_1 een spanningsimpuls ontstaan die de spanning van B_2 kortstondig compenseert, waardoor in P wèl een stroomimpuls kan optreden.

Doordat de buis P niet continu als blokkeeroscillator werkt, doch alleen op de momenten waarop in de Geiger-Müller-buis een ontlading optreedt, wordt de batterij B_1 niet continu belast. Hieraan is te danken dat deze schakeling een zeer gering vermogen verbruikt. (De gloeistroombatterij B_3 is natuurlijk wel continu belast, doch de gloeistroom van de gebruikte buis bedraagt slechts 13 mA, bij een spanning van 1,5 V.)

Daar dus voor het optreden van een stroomimpuls in de penthode een ontlading van de Geiger-Müller-buis nodig is, en een dergelijke ontlading alleen kan optreden als de condensator C_1 tot een bepaalde spanning is geladen, zou het apparaat na het inschakelen niet van zelf in werking komen. Daarom is de schakelaar S_1 aangebracht, waarmede de batterij B_2 tijdelijk uit de roosterketen kan worden

[3]) Zie: D. Goedhart en G. Hepp, Het opwekken van draaggolven in een installatie voor draaggolftelefonie, Philips techn. **T. 8**, 142 en 143, 1946, en P. A. Neeteson, Vliegwielsynchronisatie van zaagtandgeneratoren in televisieontvangers, Philips techn. T. **13**, 294-305, 1951 (No. 10).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verwijderd, zodat de blokkering van de penthode P wordt opgeheven. Na het inschakelen van het apparaat dient dus deze schakelaar even te worden gesloten. Bij iedere in de penthode optredende stroomimpuls wordt nu een lading aan de condensator C_1 toegevoerd, waardoor deze condensator snel tot de vereiste spanning wordt geladen. Na het openen van de schakelaar S_1 zorgt iedere ontlading in de Geiger-Müller-buis op de boven beschreven wijze dat de verbruikte lading van C_1 weer wordt aangevuld, daar de lading die per impuls via V aan C_1 kan worden toegevoerd groter is dan de lading die door de Geiger-Müller-buis per doorslag wordt verbruikt.

Het verbruik van de Geiger-Müller-buis is helaas niet de enige oorzaak van het ladingsverlies van de condensator C_1. Bij het kleinste gemiddelde aantal ontladingen per seconde, de zg. achtergrond of „background" (d.i. het aantal ontladingen dat per tijdseenheid ontstaat zonder dat een stralingsbron in de nabijheid is), is het ladingsverlies door de lek in de condensator zelf, in het ventiel V en in de Geiger-Müller-buis veel belangrijker. Hierdoor dreigt de spanning over C_1, als deze slechts weinig ladingsstoten ontvangt, zover te dalen dat de werking van het apparaat wordt onderbroken. Daar het apparaat, eenmaal ingeschakeld zijnde, ook bij de laagste voorkomende impulsfrequentie moet blijven werken, dient deze lekstroom tot het uiterste te worden gereduceerd. Om deze reden is het niet mogelijk voor het ventiel V een selenium- of germaniumgelijkrichter te gebruiken; de lek hiervan is nl. veel te groot. Bij gebruik van een diode in een schakeling volgens fig. 1, zou men verplicht zijn een extra gloeistroombatterij te gebruiken. Een schakeling waarbij dit laatste niet noodzakelijk is, is voorgesteld in *fig. 2*. Hierbij wordt niet, zoals in fig. 1, een positieve spanning opgewekt op de anode van de Geiger-Müller-buis, doch een negatieve spanning op de kathode hiervan. Bij het in fig. 2 voorgestelde schema is gebruik gemaakt van een diode D die zich met de penthode in één ballon bevindt. De condensator die door de stroomimpulsen wordt geladen, is ook hier aangegeven met C_1. Via een condensator C_2 worden de spanningsimpulsen die over de weerstand R_1 ontstaan toegevoerd aan het stuurrooster van de penthode P, waardoor telkens na een ontlading in de Geiger-Müller-buis de penthode wordt gedeblokkeerd.

Een bijzonderheid van het schema van fig. 2 is, dat de spanning over de Geiger-Müller-buis wordt gevormd als som van de over de condensator C_1 gevormde spanning en de spanning van de batterij B_1. Hierdoor behoeft over C_1 niet de volle spanning te worden ontwikkeld die voor de telbuis nodig is. Is bijv. een spanning van 360 V nodig en is de spanning van B_1 45 V, dan is over C_1 slechts 315 V nodig.

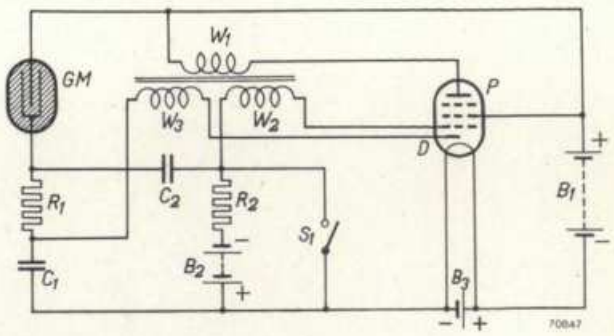


Fig. 2. Schakeling waarbij in plaats van het ventiel V uit fig. 1 gebruik is gemaakt van een diode D, die zich met de penthode in één ballon bevindt.

Een moeilijkheid die bij toepassing van het schema van fig. 2 nog bestaat, is, dat de lek van de condensator C_1 ten dele ook wordt gevormd door de niet oneindig grote isolatieweerstand van de wikkeling W_3 van de transformator. Het bleek in de practijk moeilijk aan de zeer hoge eisen die aan de isolatie van deze transformatorwikkeling worden gesteld te voldoen.

Met een eenvoudige berekening kan de grootte-orde van de toelaatbare lekweerstand worden vastgesteld. Bij een spanning van 360 V en 1000 impulsen per seconde bedraagt de gemiddelde waarde van de stroom in de Geiger-Müller-buis ongeveer 1 μA. Per impuls wordt dus een lading van 10^{-9} coulomb van de condensator C_1 verbruikt. Bedraagt het aantal impulsen per seconde N, dan wordt dus in deze tijd door de Geiger-Müller-buis een lading

$$N \cdot 10^{-9} \text{ coulomb}$$

verbruikt. Wordt de lekweerstand van de condensator C_1 voorgesteld door R_l en bedraagt de spanning over deze condensator 315 V, dan lekt per seconde weg een lading

$$\frac{315}{R_l} \text{ coulomb}.$$

Is nu het aantal ontladingen per seconde in de Geiger-Müller-buis zeer groot, dan is de lading die door deze buis aan de condensator wordt onttrokken, groot ten opzichte van het ladingsverlies door de lekstroom. Hoe kleiner echter het aantal ontladingen per seconde wordt, hoe meer de lekstroom gaat meetellen. De toegevoerde lading is immers evenredig met het aantal ontladingen in de telbuis. Het is nu nodig dat ook bij het kleinste voorkomende aantal ontladingen per seconde, nl. de „achtergrond", aan de condensator C_1 voldoende surplus lading wordt toegevoerd om de lekstroom te compenseren. Stelt men

I = de maximale waarde die de gemiddelde sterkte van de anodestroom tijdens een impuls kan bereiken,

T = de duur van een impuls,

W_1/W_3 = de verhouding van het aantal primaire tot het aantal tertiaire windingen,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

dan kan per seconde aan C_1 maximaal worden toegevoerd een lading

$$NI\,\frac{W_1}{W_3}\,T \text{ coulomb.}$$

Om de spanning over C_1 niet te doen dalen, dient deze lading gelijk aan of groter te zijn dan

$$N\cdot 10^{-9} + \frac{315}{R_1} \text{ coulomb.}$$

Is bijv. $I = 2$ mA, $T = 10^{-4}$ sec, en $W_1/W_3 = {}^1/_{10}$, dan is $N\cdot 10^{-9} \leqslant NI(W_1/W_3)T$, zodat dan geldt:

$$N\,I\,\frac{W_1}{W_3}\,T \geqq \frac{315}{R_1}.$$

Treedt bij de achtergrond 1 ontlading per 5 sec op ($N = 0{,}2$), dan volgt hieruit voor de lekweerstand de voorwaarde:

$$R_1 \geqq 10^{11}\ \Omega\ ..$$

Een schakeling waarbij minder hoge eisen worden gesteld aan de isolatieweerstand van de transformator, is voorgesteld in *fig. 3*. Hierbij is de condensator C_1 geschakeld tussen de wikkeling W_3 en de anode van de diode. Het andere einde van W_3 is nu met het gestel verbonden. Bij een dergelijke schakeling dient grote zorg te worden besteed aan

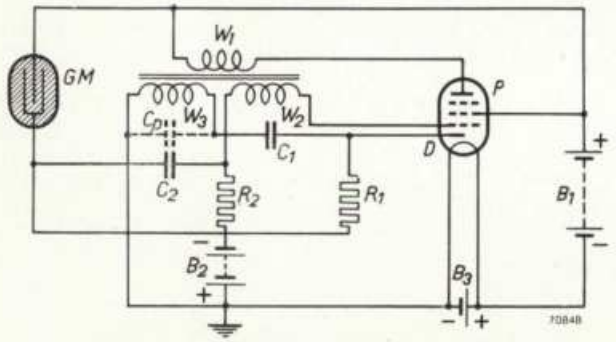


Fig. 3. Schakeling waarbij minder hoge eisen worden gesteld aan de isolatieweerstand van de transformatorwikkeling W_3.

het klein houden van de capaciteit tussen de condensator C_1 en het chassis. Zoals uit fig. 3 blijkt, is deze capaciteit parallel geschakeld met de eigen capaciteit van de wikkeling W_3. In de figuur zijn deze capaciteiten tezamen met C_p aangegeven. Het is nu noodzakelijk C_p zo klein mogelijk te houden. Immers, bij iedere impuls wordt niet alleen C_1 doch ook C_p geladen. Men wenst natuurlijk dat een zo groot mogelijk gedeelte van de per impuls beschikbare lading aan C_1 wordt toegevoerd. Hiertoe is het noodzakelijk dat C_p zeer klein is ten opzichte van C_1.

De volgende schatting moge dit verduidelijken.

Bij de hierboven aangegeven waarden van T, I, en W_1/W_3 bedraagt de per impuls maximaal beschikbare lading $2\cdot 10^{-8}$ coulomb.

Worden C_1 en C_p geladen tot een spanning van 315 V en wenst men, dat niet meer dan 10 % van de lading aan C_p wordt toegevoerd, dan moet C_p voldoen aan de voorwaarde:

$$315\ C_p \leqq \frac{1}{10}\,2\cdot 10^{-8},$$

of:

$$C_p \leqq 6{,}3\ \text{pF}.$$

Het is gebleken dat aan de boven omschreven eis voor het klein houden van de capaciteit C_p is te voldoen door een speciale wikkelings- en isolatiemethode van de transformator en een zorgvuldige opstelling van de onderdelen.

Om de capaciteit tussen C_1 en het gestel zo klein mogelijk te houden, is het noodzakelijk de afmetingen van deze condensator zoveel mogelijk te beperken, dus dient ook de capaciteit van C_1 zelf klein te zijn. Ook om een andere reden is dit laatste gewenst, nl. met het oog op het kort houden van de starttijd, d.i. de tijd gedurende welke de schakelaar S_1 (zie fig. 1 en 2) moet worden gesloten om de condensator C_1 te laden. Deze tijd dient bij voorkeur tot een onderdeel van een seconde te worden beperkt. Natuurlijk zal deze starttijd korter zijn naarmate de capaciteit van C_1 kleiner is. Kiest men echter deze capaciteit te klein, dan wordt de kans te groot dat, indien in een bepaalde tijd bijzonder weinig impulsen komen [2]), de spanning over C_1 gedurende de tijd tussen twee impulsen zoveel daalt dat in de Geiger-Müller-buis geen ontlading meer kan optreden en de werking van het apparaat dus wordt onderbroken. Men heeft daarom de capaciteit van C_1 zo groot gemaakt dat ook bij het kleinste in de practijk voorkomende aantal impulsen per seconde (de achtergrond) een onderbreking van de werking uitermate onwaarschijnlijk is.

Een grootheid waaraan ook bijzonder hoge eisen worden gesteld, is de zelfinductiecoëfficient van de transformatorwikkelingen. Deze dient zeer hoog te zijn om de magnetisatiestroom te beperken.

Een veel gebruikt vervangschema voor een transformator bestaat uit een „ideale" transformator, waarvan o.a. de zelfinductiecoëfficient van de wikkelingen oneindig groot is (spreiding en verliezen worden hier buiten beschouwing gelaten) en waarbij parallel met één van de wikkelingen een spoel is aangebracht, waarvan de zelfinductiecoëfficient gelijk is aan de werkelijke waarde voor de desbetreffende wikkeling. In *fig. 4* is een dergelijk vervangschema voor een gedeelte van fig. 3 getekend. Hierin stelt T een ideale transformator voor; de stroom I_3 is hierdoor gelijk aan $I_1 W_1/W_3$. De penthode P is voorgesteld door een schakelaar S_p waarmede de stroom I_1 periodiek wordt ingeschakeld. Bedraagt $I_1 = 2$ mA, en is $W_1/W_3 = {}^1/_{10}$, dan is dus $I_3 = 0{,}2$ mA. Onmiddellijk na het inschakelen zal deze stroom geheel door de condensator C_1 en de diode vloeien, doch een steeds groter wordend gedeelte van I_3 zal vloeien in de spoel met zelfinductiecoëfficient L_3, die gelijk is aan die van de tertiaire wikkeling. Is de spanning

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

over C_1 gelijk aan 315 V, dan zal de tijdsafgeleide van de stroom in L_3 gegeven zijn door:

$$L_3 \frac{dI_{L_3}}{dt} = 315.$$

Wenst men nu bijv. dat tijdens de duur van een impuls (10^{-4} sec) de stroom I_{L_3} niet stijgt boven een waarde die 20% is van de totale beschikbare stroom I_3 (0,2 mA) dan dient dI_{L_3}/dt kleiner te zijn dan

$$\frac{0{,}04 \cdot 10^{-3}}{10^{-4}} = 0{,}4 \text{ A/sec},$$

zodat L_3 dan groter dient te zijn dan $315/0{,}4 \approx 800$ H.

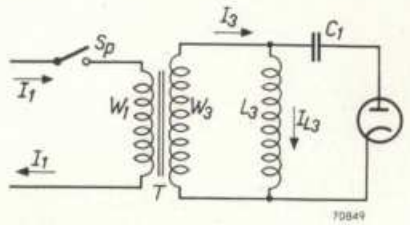


Fig. 4. Vervangschema voor de transformator. De penthode is voorgesteld door een stroombron I_1 en een schakelaar S_p.

De schakeling van het aanwijsinstrument

Zoals reeds op blz. 17 werd uiteengezet, wordt een maat voor het gemiddelde aantal ontladingen per tijdseenheid in de telbuis gegeven door de gemiddelde waarde van de anodestroom in de penthode P. De meest voor de hand liggende manier om een meetinstrument dat de impulsfrequentie aangeeft in de schakeling op te nemen, is dan ook om dit instrument, in serie met een weerstand, parallel te schakelen met een in de anodeketen van P opgenomen condensator. In dit geval wordt natuurlijk door het aanwijsinstrument en de serieweerstand een zeker spanningsverlies veroorzaakt, waardoor men verplicht is om de batterij B_1 een hogere spanning te geven, zodat het apparaat een groter vermogen verbruikt.

Het is nu gebleken dat met een andere schakeling een geringer verbruik kan worden bereikt. In *fig. 5* is het principe van deze schakeling weergegeven. De serieschakeling van de stroommeter M en de weerstand R_m is parallel geschakeld met de condensator C_m. Dit geheel is via het ventiel V parallel geschakeld met de primaire wikkeling W_1 van de transformator.

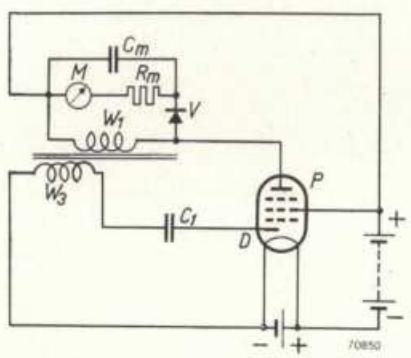


Fig. 5. Schakeling voor het aanwijsinstrument, die voordelen biedt ten opzichte van het opnemen van een meter in de anodeleiding van de penthode.

Telkens wanneer in de anodeketen van de penthode P een stroomimpuls optreedt, ontstaat een gedempte trilling in de trillingskring die wordt gevormd door de wikkeling W_1 en de eigen capaciteit hiervan. De polariteit van het ventiel V en de diode D is nu zodanig dat gedurende de eerste helft van de eerste periode de condensator C_1 wordt geladen en gedurende de tweede helft van deze periode de condensator C_m. Hierdoor is na een complete periode nagenoeg alle energie nuttig gebruikt.

Behalve het voordeel van een nuttiger gebruik van de energie, wordt met deze schakeling ook bereikt dat het geheel stabieler is dan bij opneming van een stroommeter in de anodeketen van P. Bij het vrij uittrillen van W_1 bestaat nl. het gevaar dat de tweede periode de functie van een ontlading in de Geiger-Müller-buis overneemt en de penthode deblokkeert, waarna dit verschijnsel zich zal herhalen, zodat het aantal anodestroomimpulsen onafhankelijk wordt van het aantal ontladingen in de Geiger-Müller-buis, wat uiteraard ongewenst is. Wanneer nu, zoals hierboven werd beschreven, gedurende de eerste periode nagenoeg alle energie is verbruikt, zal het verder uittrillen slechts met een zeer kleine amplitude geschieden en bestaat geen gevaar voor het beschreven ongewenste verschijnsel.

De schakeling van de diode-penthode is op te vatten als een „gelijkspanningstransformator", evenals het geval is met een vibrator, zoals die o.a. in autoradiotoestellen wordt toegepast. De spanning van de batterij B_1 wordt „getransformeerd" tot de voor de Geiger-Müller-buis nodige spanning. Deze spanning stelt zich steeds ongeveer op de vereiste waarde in, onafhankelijk van het aantal impulsen per seconde. In *fig. 6* zijn de resultaten weergegeven van een meting, waardoor dit wordt bevestigd. Hierbij zijn opgenomen de stroom in de Geiger-Müller-buis en de stroom in de diode, beide als functie van de (thans uitwendig aangelegde) spanning op de Geiger-Müller-buis, bij enkele aantallen impulsen per seconde. De spanning op de buis zal zich natuurlijk instellen op die waarde waarbij deze stromen aan elkaar gelijk zijn. We zien uit fig. 6 dat, wanneer het aantal impulsen per seconde zich wijzigt van 50 tot 600, de spanning op de Geiger-Müller-buis slechts varieert van 385 tot 360 volt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

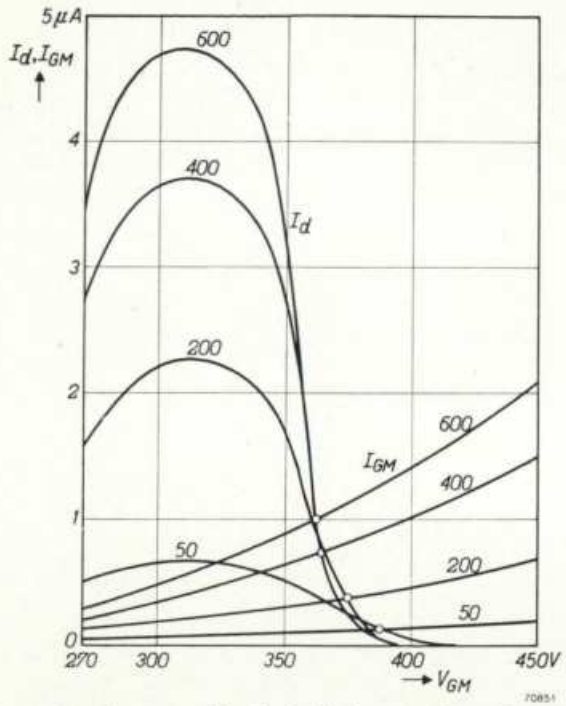


Fig. 6. Grafiek, voorstellende de diodestroom I_d en de stroom in de Geiger-Müller-buis I_{GM} als functie van de (uitwendig aangelegde) spanning V_{GM} op de Geiger-Müller-buis. De bij de krommen geplaatste getallen geven het aantal impulsen per seconde aan. De spanning over de Geiger-Müller-buis zal zich instellen op het snijpunt van de overeenkomstige krommen. Deze spanning blijkt weinig afhankelijk te zijn van het aantal impulsen per seconde.

De uitvoering van het apparaat

De in het voorgaande weergegeven schema's wijken nog in enkele opzichten af van het definitieve schema volgens hetwelk de stralingsmeter werd uitgevoerd. In *fig. 7* is dit schema, met weglating van enkele bijkomstige details, weergegeven. Het voornaamste verschil met de figuren 1, 2 en 3 is wel, dat voor de terugkoppeling en de gelijkrichting geen afzonderlijke wikkelingen op de transformator zijn aangebracht. Voor beide doeleinden wordt de wikkeling W_2 gebruikt. De wikkeling W_3 dient hier uitsluitend om er het aanwijsinstrument op aan te sluiten (via het ventiel V_m). De nodige traagheid van de aanwijzing van het instrument wordt verkregen met behulp van een filter, dat bestaat uit twee secties. Door middel van een schakelaar S_m, waarmede een weerstand R_m'' parallel met de condensator C_m kan worden geschakeld, kan de gevoeligheid worden ingesteld op twee waarden, nl. 40 en 600 impulsen per sec voor volle uitslag. De reden waarom men het filter uit twee secties heeft samengesteld, is, dat anders bij het sluiten van de schakelaar S_m door de kleine waarde van R_m'' de traagheid te klein zou worden.

Behalve het ventiel V_m is nog een tweede ventiel V_m' aanwezig. In de meeste gevallen is dit ventiel onwerkzaam, doordat hieraan door middel van de gloeistroombatterij B_3 een bepaalde voorspanning wordt gegeven. V_m' wordt alleen werkzaam wanneer het apparaat zich in een zeer sterke straling bevindt en niettemin in de gevoeligste stand is geschakeld. In dit geval is nl. de gemiddelde waarde van de tijd tussen twee impulsen zo klein dat de condensator C_m gedurende deze tijd bijna geen ladingsvermindering ondergaat. Het ventiel V_m zal dan nagenoeg geen stroom doorlaten en de spanning op W_3 kan hierdoor stijgen tot een zodanige waarde dat het gevaar bestaat dat tijdens het uittrillen van de door W_3 gevormde kring de tweede periode de functie van een ontlading in de Geiger-Müller-buis overneemt, zoals hiervóór reeds werd beschreven. Iedere stroomimpuls in de anodeketen

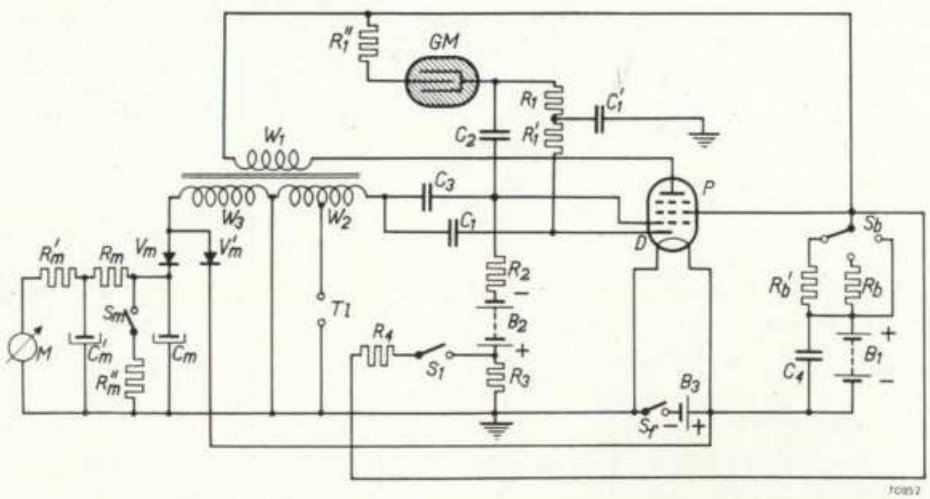


Fig. 7. Schema van de stralingsmeter met voeding door batterijen. Enkele minder belangrijke details zijn weggelaten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van P zou dan automatisch door een nieuwe impuls worden gevolgd, welke toestand zou blijven bestaan indien de sterke straling niet meer aanwezig was. Ook wanneer men zich met het apparaat buiten het gebied van de sterke straling begeeft, zou dus de meter de volle uitslag blijven vertonen. Bij verschillende toepassingen zou hierdoor verwarring kunnen ontstaan. Om deze reden is het ventiel V_m' aangebracht, dat voorkomt dat de spanning over W_3 tot een zodanige waarde kan stijgen dat de bovengenoemde ongewenste toestand kan optreden. Bovendien wordt door V_m' voorkomen dat het aanwijsinstrument M bij aanwezigheid van een zeer sterke straling kan worden overbelast.

De terugkoppeling, die noodzakelijk is om in de penthode op de boven omschreven wijze anodestroomimpulsen te doen optreden, wordt tot stand gebracht door middel van de condensator C_3. Men kan deze terugkoppeling ook tot stand brengen zonder deze condensator, nl. via C_1, R_1 en C_2 (als R_1' en C_1' niet zijn aangebracht). Het is echter gebleken, dat bij gebruik van een condensator in een schakeling zoals voor C_3 is aangegeven, een kortere duur van de anodestroomimpulsen wordt verkregen, wat voor het tellen van een groot aantal impulsen per tijdseenheid gunstig is. Om nu te voorkomen, dat tevens terugkoppeling via C_1, R_1 en C_2 optreedt, zijn de weerstand R_1' en de condensator C_1' aangebracht.

Het is van veel belang dat de duur van de anodestroomimpulsen en het verloop van de stroom gedurende iedere impuls onder alle omstandigheden zoveel mogelijk dezelfde zijn: immers, hiervan is de ijking van het aanwijsinstrument afhankelijk. Een grote invloed hierop heeft de spanning van de batterij B_1. Daar deze spanning tijdens de levensduur van de batterij daalt, is een tweetal weerstanden R_b en R_b' aangebracht, die bij „hoge" en gemiddelde waarden van de batterijspanning in serie met de anodebatterij B_1 kunnen worden geschakeld. Ieder van deze weerstanden heeft een zodanige waarde, dat bij de normale sterkte van de anodestroomimpulsen een spanningsverlies optreedt dat juist voldoende is om de anode- en schermroosterspanningen tijdens een impuls tot op de gewenste waarde te reduceren. Op deze wijze kan de sterkte en het tijdsverloop van de stroomimpulsen in voldoende mate onafhankelijk worden gemaakt van de batterijspanning. Om bij het ouder worden van de batterij B_1 een beïnvloeding van het tijdsverloop door de groter wordende inwendige weerstand te voorkomen, is parallel met B_1 een condensator, C_4, geschakeld.

Het inschakelen van het apparaat vindt plaats door het kortstondig sluiten van de schakelaar S_1, waardoor een positieve spanning, die via de spanningsdeler R_3-R_4 van de batterij B_1 wordt verkregen, de spanning van de batterij B_2 compenseert.

Wanneer het aantal de Geiger-Müllerbuis binnentredende ioniserende deeltjes per tijdseenheid te gering is om door het meetinstrument te worden aangegeven, kan men de stroomimpulsen ook hoorbaar maken door middel van een telefoon. De hiertoe aangebrachte klemmen zijn in het schema met *Tl* aangegeven [4]).

In *fig. 8* is een afbeelding van de stralingsmeter tijdens gebruik weergegeven. *Fig. 9* is een foto van het toestelletje in geopende toestand. Het gewicht bedraagt 520 gram; de afmetingen zijn 17 × 4 × 10 cm. De batterijen zijn kleine typen zoals die worden gebruikt voor hoorapparaten. Aan de voorzijde is een knop met 6 standen aangebracht, waarmede zowel de startschakelaar S_1 als de gevoeligheidschakelaar S_m en de gloeistroomschakelaar S_f worden bediend. De stand waarin de startschakelaar S_1 gesloten is, bevindt zich onmiddellijk naast de stand „uit". In de regel is het draaien van de schakelaar via de

67065

Fig. 8. De stralingsmeter in gebruik. De foto demonstreert dat de zeer zwakke radioactieve straling van een horloge met lichtgevende wijzers kan worden aangetoond.

[4]) Ook bij exploratiewerk is het vaak gemakkelijk een telefoon te gebruiken, daar men dan niet steeds de ogen op het meetinstrument gericht behoeft te houden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

„start"-stand in één der andere standen voldoende om het apparaat in werking te brengen. Met behulp van het aanwijsinstrument kunnen ook de spanningen van de gloeistroombatterij B_3 en van de anodebatterij B_1 worden gemeten. Ook dit geschiedt met behulp van een tweetal standen van de genoemde knop. De hiertoe aanwezige leidingen zijn ter wille van de overzichtelijkheid niet in fig. 7

„dode tijd" van de Geiger-Müller-buis (zie bijv. het in [1]) aangehaalde artikel) en van de blokkeeroscillator een toenemende rol gaan spelen. Indien de „dode tijd" bekend zou zijn, zou nog op vrij eenvoudige wijze uit het aantal ontladingen per sec het aantal invallende ioniserende deeltjes zijn te berekenen. Meestal is echter de „dode tijd" niet bekend. Het is daarom juister bij de ijking het

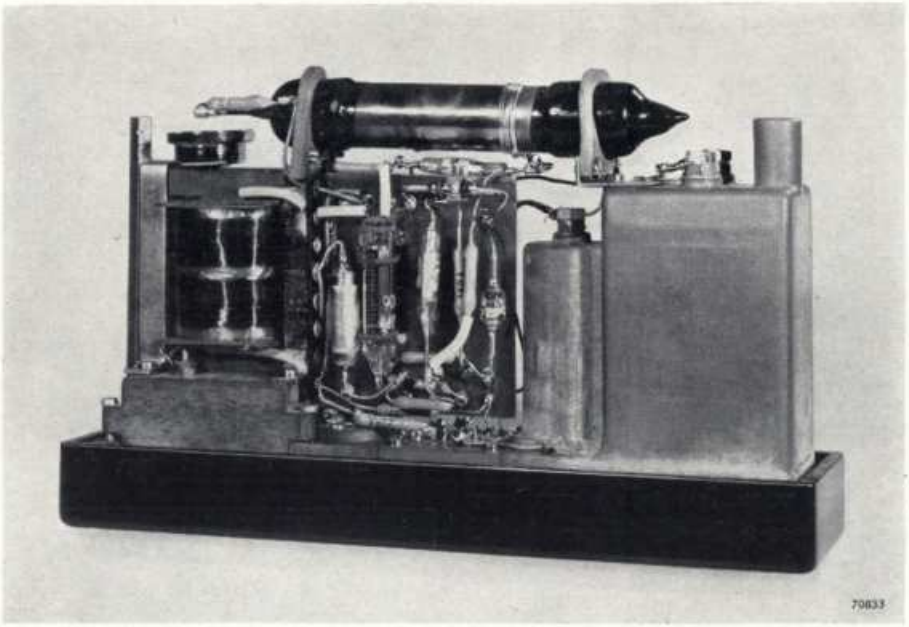


Fig. 9. De stralingsmeter, met afgenomen kap. Aan de bovenzijde bevindt zich de Geiger-Müller-buis. Links de transformator, rechts de gloeispannings- en anodespanningsbatterijen.

weergegeven. De weerstanden R_b en R_b' kunnen worden ingeschakeld met behulp van een afzonderlijke schakelaar. Een tweetal merktekens op het aanwijsinstrument geven de anodespanningen aan waarbij deze schakelaar in de met de overeenkomstige tekens gemerkte stand moet worden geplaatst.

De ijking van het instrument

Zoals reeds in het voorgaande werd vermeld, is de stralingsmeter voorzien van twee schalen, voor 0-40 en 0-600 ontladingen per sec. Het ijken van deze schalen lijkt eenvoudiger dan het is. Men zou kunnen denken, dat men hiertoe alleen maar een telapparaat op de stralingsmeter zou behoeven aan te sluiten om bij iedere uitslag van het aanwijsinstrument het aantal ontladingen per sec te kunnen aflezen. Wanneer dit aantal gering is, is dit inderdaad wel mogelijk. Wordt echter het aantal invallende ioniserende deeltjes groter, dan wordt het aantal ontladingen in de Geiger-Müller-buis kleiner dan het aantal invallende deeltjes, omdat de aantal invallende deeltjes te meten met een instrument, waarvan de „dode tijd" verwaarloosbaar klein is.

Bij de door ons gevolgde methode wordt geen gebruik gemaakt van afzonderlijke invallende deeltjes of fotonen, doch van impulsgewijs optredende röntgenstraling. Deze impulsen zijn van zo korte duur, dat door ieder van hen slechts één ontlading in de Geiger-Müller-buis wordt veroorzaakt, hoewel het aantal fotonen in iedere impuls zeer groot is. De stralingsmeter wordt geplaatst in de nabijheid van een röntgenbuis die van een rooster is voorzien. Aan dit rooster wordt een zo grote negatieve spanning gegeven dat in de rusttoestand geen anodestroom vloeit. Door middel van positieve spanningsstoten op het rooster worden nu anodestroomimpulsen veroorzaakt, waardoor de bovenvermelde impulsgewijs optredende röntgenstraling ontstaat.

De willekeurig in de tijd verdeelde spanningsstoten, die aan het rooster moeten worden toegevoerd, worden verkregen met behulp van een radioactief

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

preparaat dat o.a. α-deeltjes uitzendt, en dat is opgesteld in de nabijheid van een zg. scintillatieteller. Dit is een apparaat waarmede spanningsimpulsen worden opgewekt telkens wanneer een zich hierin bevindend kristal door een α-deeltje wordt getroffen. Na versterking worden deze impulsen toegevoerd aan het rooster van de bovengenoemde röntgenbuis en bovendien aan een apparaat dat het aantal spanningsimpulsen telt („scaler"), of wel aan een apparaat dat het gemiddelde aantal impulsen per sec aangeeft („counting rate meter"). De dode tijd van deze apparaten is zo klein dat deze bij de hier beschreven metingen geen rol speelt. Door het radioactieve preparaat meer of minder ver van de scintillatieteller te verwijderen, kan men het aantal impulsen per sec regelen en zodoende de schaal van de stralingsmeter ijken.

Het feit, dat van röntgenstraling (of in het algemeen van kunstmatig opgewekte straling) die in zeer korte impulsen wordt afgegeven, alleen het aantal impulsen wordt geteld en niet de sterkte hiervan wordt gemeten, is de voornaamste reden waarom men er van heeft afgezien een ijking in röntgen per uur aan te brengen. Hierbij zou men nl. in sommige gevallen uit de uitslag volkomen ten onrechte kunnen concluderen dat de straling ongevaarlijk zou zijn. Een andere reden waarom een ijking in röntgen per uur niet goed kan worden aangebracht, is, dat de gevoeligheid van een Geiger-Müller-buis voor γ-stralen afhangt van de golflengte van deze straling.

Samenvatting. Om met een Geiger-Müller-telbuis een transportabele stralingsmeter te kunnen construeren die kleine afmetingen heeft, is een beperkt stroomverbruik van veel belang. Hierdoor kan nl. gebruik worden gemaakt van kleine typen batterijen. Aan deze eis wordt in hoge mate voldaan als men de spanning voor de telbuis laat leveren door een zg. blokkeeroscillator, die spanningsstoten geeft, waarmede via een diode een condensator wordt geladen. De blokkeeroscillator is alleen werkzaam wanneer door een ontlading in de telbuis lading aan deze condensator wordt onttrokken. Volgens dit principe is een stralingsmeter gebouwd, die slechts $17 \times 4 \times 10$ cm meet, 520 gram weegt en door twee batterijtjes voor hoorapparaten wordt gevoed. In het artikel worden een aantal eisen besproken waaraan de onderdelen van de schakeling moesten voldoen. Verder wordt een nadere beschrijving gegeven van de schakeling van het aanwijsinstrument, dat is geijkt in aantallen invallende ioniserende deeltjes per sec; deze schakeling is weer zo uitgevoerd dat het opgenomen vermogen gering is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ELECTRONENBANEN IN RUIMTELADINGSVELDEN NAGEBOOTST OP HET RUBBERMEMBRAAN

door G. ALMA, G. DIEMER en H. GROENDIJK. 537.533.3.072:621.385.1

Het rubbermembraan is een sinds lang bekend hulpmiddel voor de studie van tweedimensionale velden en van de beweging van electronen daarin. Bij de ontwikkeling van electronenbuizen heeft men door toepassing van het rubbermembraan het inzicht in vele problemen belangrijk kunnen verdiepen, in het bijzonder in gevallen waar de behandeling langs zuiver theoretische weg op grote moeilijkheden stuit. Ook voor ultrakortegolfbuizen, met zeer kleine electrodenafstanden, is de methode nuttig, mits men op het membraan de ruimtelading die door de electronen zelf wordt veroorzaakt, in rekening brengt. Hoe dit laatste in principe mogelijk is en hoe de methode practisch realiseerbaar is, wordt in onderstaand artikel geschetst.

Inleiding

De beweging van electronen in electronenbuizen wordt soms geïmiteerd door kogels te laten rollen over een oppervlak dat een „model" is van het electrostatische veld in de buis. De verticale afstand h van dit oppervlak tot een vast horizontaal vlak is in ieder punt (X, Y) evenredig met de potentiaal q in het corresponderende punt (x, y) van het veld. De horizontale projecties van de kogelbanen op het model zijn gelijkvormig met de banen van de electronen in het electrostatische veld, terwijl ook de snelheden van kogels en electronen evenredig zijn. Voor het bewijs hiervan verwijzen wij naar een artikel van Kleijnen, dat vroeger in dit tijdschrift is verschenen en dat wij nog verscheidene malen zullen aanhalen [1]).

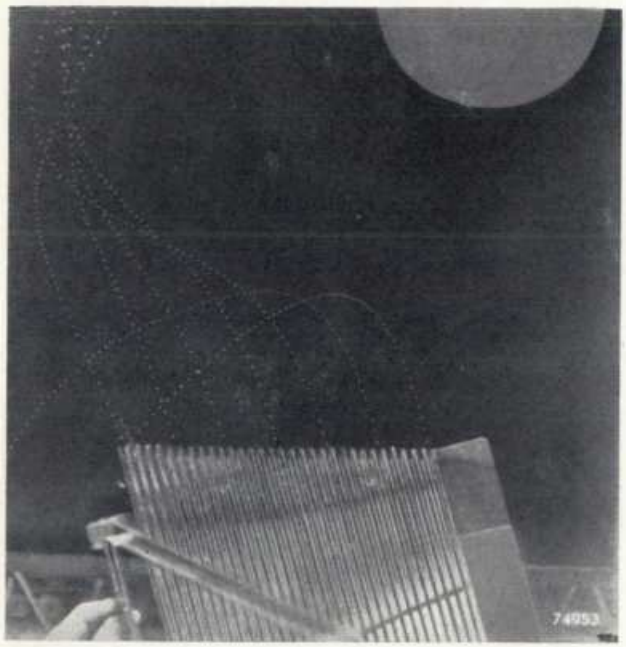


Fig. 1. De beweging van electronen in een electrostatisch veld kan nagebootst worden door kogels te laten rollen over een gespannen rubbervel dat op geschikte wijze is ondersteund. Door de glimmend gepolijste stalen kogels te fotograferen met intermitterende belichting, krijgt men de banen als stippellijnen te zien. Uit de afstand van de stippen kan men de snelheid afleiden.

Men bepaalt de banen en snelheden van de glimmend gepolijste kogels door deze te fotograferen met een intermitterende belichting van bekende periode. De banen worden als stippellijnen zichtbaar (*fig. 1*). Uit de afstand van de opeenvolgende stippen kan men dan de snelheid afleiden.

Nabootsing van ruimtelading door druk op een rubbermembraan

Het „model" kan op zeer eenvoudige wijze vervaardigd worden door gebruik te maken van een gelijkmatig gespannen rubbervel (rubbermembraan). Kleijnen behandelde dit voor het geval dat het electrostatische veld geen ruimtelading bevatte (zie I, blz. 338-339). Wij zetten hier de beschouwing iets algemener op om wel ruimtelading in rekening te kunnen brengen. Daartoe denken wij ons het rubbermembraan aanvankelijk met constante spanning σ gespannen in een horizontaal X-Y-vlak. Vervolgens beschouwen wij een toestand waarin de punten van dit vel verticale uitwijkingen h hebben: h zal een functie zijn van X, Y, en in het algemene geval ook van de tijd t. Wij onderstellen verder dat op het vel een verticale druk p werkt, die in het algemeen eveneens afhankelijk is van X, Y en t. De membraanspanning σ veroorzaakt (zie I) op een element met afmetingen dX en dY een verticale kracht gelijk aan

$$\sigma\left(\frac{\partial^2 h}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial Y^2}\right)dX\,dY.$$

[1]) P. H. J. A. Kleijnen, De beweging van een electron in tweedimensionale electrische velden, Philips techn. T. **2**, 338-345, 1937, speciaal blz. 340. Dit artikel wordt hier verder aangehaald als I.
De methode kan alleen toegepast worden indien het veld onafhankelijk is van de derde der onderling loodrechte coördinaten.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De druk levert een verticale kracht $p\,dX\,dY$. Is m_1 de massa per eenheid van oppervlakte, dan wordt de bewegingsvergelijking dus:

$$\sigma\left(\frac{\partial^2 h}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial Y^2}\right)+p=m_1\frac{\partial^2 h}{\partial t^2}. \quad . \quad . \quad (1)$$

Voor ons is alleen van belang het geval dat het vel in evenwicht is [2]). Dan is $\partial^2 h/\partial t^2 = 0$ en p is onafhankelijk van de tijd. Verg. (1) wordt dan gereduceerd tot:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial Y^2}=-\frac{p}{\sigma}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Dit is de vergelijking van Poisson, die ook geldt voor de potentiaal φ in electrostatische velden met ruimtelading. Is de ruimteladingsdichtheid ϱ, dan geldt voor deze potentiaal in een tweedimensionaal veld (coördinaten x en y):

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}=-\frac{\varrho}{\varepsilon_0}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Hierin is $\varepsilon_0 = 8{,}855\cdot 10^{-12}$ A·sec/V·m, de diëlectrische constante van vacuum.

Laat het model op zodanige schaal zijn vervaardigd dat tussen de coördinaten van corresponderende plaatsen in veld en model het verband bestaat:

$$\left.\begin{aligned} x &= S_l X \\ y &= S_l Y \end{aligned}\right\}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

terwijl wij een situatie willen scheppen waarbij voor de potentiaal en de verticale uitwijkingen van het membraan op zulke plaatsen geldt:

$$\varphi = S_\varphi h. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

S_l en S_φ zijn dus de schaalfactoren resp. voor de lengteafmetingen en voor de potentiaal.

Door (4) en (5) in te vullen in (3), en deze differentiaalvergelijking dan te vergelijken met (2), vinden wij dat p moet voldoen aan:

$$p=\frac{S_l^2}{S_\varphi}\frac{\sigma}{\varepsilon_0}\varrho. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

De oplossing van de vergelijking van Poisson (2) of (3) is ondubbelzinnig bepaald als het rechterlid is gegeven als functie van de coördinaten en tevens de randvoorwaarden bekend zijn. De randvoorwaarden zijn hier dat op de oppervlakken van de electrodes de potentiaal voorgeschreven waarden moet hebben. Om het gewenste model van het veld te verkrijgen, moeten wij dus, met een nog nader te bespreken mechanisme, op elke plaats een druk op het membraan aanbrengen volgens (6) en we moeten het op de lijnen die corresponderen met de randen van de electrodes, uitwijkingen h geven die volgens (5) samenhangen met de potentialen van deze electrodes.

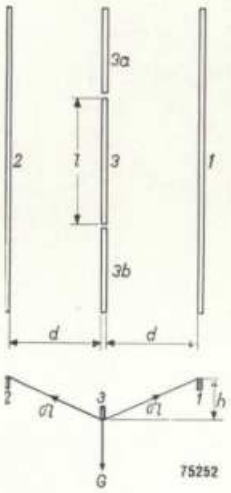


Fig. 2. Bepaling van de spanning σ in het rubbervel. De evenwijdige staven *1* en *2* worden horizontaal opgesteld, waarna het gespannen rubbermembraan erop gelegd wordt. Vervolgens drukt men de staaf *3* (lengte l) naar beneden met een bekende kracht G. De doorhanging h ten gevolge van deze kracht wordt gemeten. De hulpstaven *3a* en *3b*, die tot dezelfde diepte als staaf *3* worden ingedrukt, zijn aangebracht om de invloed van de eindige lengte van staaf *3* op te heffen. Uit de onderste figuur, tevens krachtendiagram, blijkt dat $G = 2\sigma lh/d$ als $h \ll d$, waaruit volgt $\sigma = Gd/2lh$.

Om (6) te kunnen toepassen moeten we blijkbaar de membraanspanning σ kennen. Deze spanning wordt experimenteel bepaald met een proef zoals in *fig. 2* met bijschrift nader wordt verklaard.

De iteratiemethode

Volgens het bovenstaande moet men, om met het rubbervel een model te kunnen maken, de ruimteladingsverdeling kennen. De ruimtelading hangt echter, behalve van het aantal electronen, ook af van hun banen en snelheden, die men juist met behulp van het model wil bepalen. Een uitweg uit deze impasse biedt de methode van de opeenvolgende benaderingen (iteratiemethode). Men maakt eerst een model waarbij men geen ruimtelading, dwz. geen druk, aanbrengt, of nog beter, waarbij een druk wordt aangebracht die correspondeert met een plausibele ruimteladingsverdeling. Uit de dan waargenomen beweging van de kogels berekent men de bijbehorende dichtheid van de ruimtelading [3]) en wijzigt dienovereenkomstig de

[2]) Is er géén evenwicht, maar is $p = 0$, dus is er geen druk op het vel, dan neemt (1) de vorm aan:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial X^2}+\frac{\partial^2 h}{\partial Y^2}=\frac{m_1}{\sigma}\frac{\partial^2 h}{\partial t^2}.$$

Dit is een zg. golfvergelijking, waardoor transversale trillingen van het membraan worden beschreven. Deze zijn analoog aan electromagnetische golven, zoals die bijv. in golfpijpen optreden. Van deze analogie is in dit laboratorium gebruik gemaakt om het gedrag van golfpijpen te bestuderen; zie K. S. Knol en G. Diemer, Philips techn. T. **11**, 156-163, 1949.

[3]) De bijdrage van een electron tot de gemiddelde ruimtelading in een bepaald volume-element is evenredig met de verblijftijd van het electron in dit volume-element. Deze verblijftijd is weer evenredig met het aantal stippen dat, bij de aan het begin van dit artikel genoemde fotografische waarnemingsmethode, door de representerende kogel worden opgetekend als hij het corresponderende oppervlakte-element op het vel doorloopt. Men zal kunnen aanvoelen dat men uit de dichtheid van de stippen de ruimteladingsdichtheid kan afleiden. Het valt buiten het bestek van dit artikel om hier verder op in te gaan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

drukverdeling. Vervolgens laat men weer kogels over het vel rollen, berekent opnieuw de ruimteladingsverdeling, enz. Men zal in het algemeen mogen verwachten dat men op deze wijze de juiste oplossing voortdurend beter benadert. Uit enige eenvoudige voorbeelden, waarbij het iteratieproces langs mathematische weg gevolgd kan worden, is gebleken dat dit zelfs zeer snel kan gaan. In bepaalde gevallen bestaat echter ook de mogelijkheid van minder goede convergentie en zelfs van divergentie (zie Aanhangsel).

Door enige experimenten, die wij hier zullen beschrijven, werd het vermoeden dat gewoonlijk snelle convergentie optreedt, bevestigd [4]).

Experimentele uitvoering

Een geladen deeltje wordt door een ruimtelading van zijn eigen polariteit afgestoten. Indien het een gebied binnentreedt dat een dergelijke ruimtelading bevat, wordt zijn potentiële energie dus groter dan bij afwezigheid van die ruimtelading het geval zou zijn. Hieruit ziet men dat, in het model, een naar boven gerichte druk op het membraan met de ruimtelading correspondeert. Deze druk onder tegen het rubbermembraan wordt uitgeoefend door een aantal plaatjes waarop verticale krachten naar boven werken die, voor ieder plaatje afzonderlijk, instelbaar zijn. De krachten zijn afkomstig van gewichten en worden overgebracht door draadjes en katrolletjes. Deze uitvoering maakt het mogelijk gebruik te maken van kleine eenheden van telkens zes drukplaatjes (*fig. 3*). Daardoor wordt de methode geschikt voor zeer uiteenlopende electrodenconfiguraties.

Ter beperking van onregelmatigheden in het veloppervlak, die ter plaatse van de grenzen tussen de drukplaatjes kunnen ontstaan, geschiedt het aandrukken door tussenkomst van licht kantelbare kussentjes van sponsrubber.

Essentieel is dat de ingestelde drukkrachten worden uitgeoefend, onafhankelijk van de hoogte die het membraan ten slotte aanneemt — een eis waaraan de beschreven uitvoering voldoet. Bij een aandrukking met electromagneten, die ook beproefd werd en die het voordeel heeft van gemakkelijke afstandsbediening, bleek het daarentegen niet mogelijk aan deze eis in voldoende mate tegemoet te komen.

Wrijving in het apparaat heeft tot gevolg dat de kracht op het membraan afwijkt van het belastende gewicht. Weliswaar kan men hiervoor corrigeren, maar toch moet deze wrijving zo gering mogelijk gehouden worden. Bij de constructie volgens fig. 3 bedraagt zij minder dan 5% van het aan te brengen gewicht. Bij sommige experimenten is nog gebruik

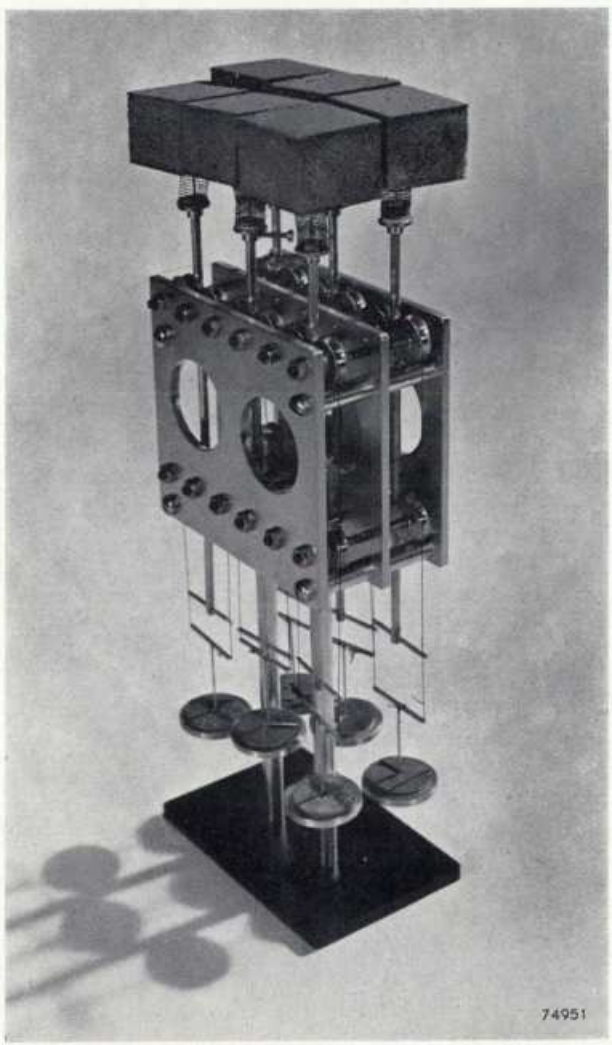


Fig. 3. Toestel voor het uitoefenen van een opwaartse druk op het rubbermembraan. Deze druk imiteert de ruimtelading die door de electronen wordt veroorzaakt. Door een aantal van de afgebeelde toestellen naast elkaar aan te brengen, kan men elke „ruimteladingsverdeling" nabootsen. De afmetingen van een drukplaatje zijn 3 bij 3 cm.

[4]) In I werd reeds op het iteratieproces gewezen als mogelijkheid om de ruimtelading, door de electronen zelf veroorzaakt, in rekening te brengen. Pas door dit proces te combineren met de methode om de ruimteladingsdichtheid op het membraan door druk te imiteren, is het echter gelukt het proces ook practisch toe te passen. In principe kan men nl. wel de correcties, die de membraanhoogte moet ondergaan als gevolg van de ruimtelading, berekenen door de vergelijking van Poisson numeriek op te lossen. Dit vergt evenwel een enorm rekenwerk. Bovendien zou men, na de eerste stap zonder ruimtelading, het rubbervel moeten vervangen door een reeks starre berekende oppervlakken. Het behoeft geen betoog dat dit practisch niet doenlijk is.

Het idee om de ruimtelading na te bootsen door een instelbare druk is inmiddels ook geopperd door Bloch in een discussie na een voordracht over de fouten van het rubbervel (Proc. Inst. El. Engrs. **97** II, 443, 1950), en onafhankelijk daarvan door de Russische onderzoekers Bobykin, Kelman en Kaminsky, die de methode tevens practisch hebben toegepast (J. techn. Phys. USSR **22**, 736-743, 1952). Zij gebruikten een opstelling die veel overeenkomst vertoont met de onze. (Ook zij brachten de druk aan door middel van plaatjes, belast met gewichten.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gemaakt van een iets andere, minder geperfectionneerde, uitvoering. De wrijving bedroeg daarbij nog 15% van het belastende gewicht. Op de manier waarop voor de wrijving werd gecorrigeerd komen wij nog terug.

Experimenten ter toetsing van de methode

Om de beschreven methode te toetsen, is een drietal situaties op het vel nagebootst waarbij de electronenbeweging van te voren bekend was. De proeven met het rubbervel leverden met redelijke nauwkeurigheid deze bekende uitkomsten, waardoor het vertrouwen in de bruikbaarheid van de methode belangrijk werd versterkt.

Cylindervormig gedeformeerd membraan

Het eerste experiment dat wij beschrijven, had tot doel een indruk te geven van de invloed die het aanbrengen van de druk door middel van een aantal plaatjes heeft op de banen van de kogels. Men kan vrezen dat ter plaatse van de grenzen tussen naburige plaatjes onregelmatigheden in het velopper-vlak optreden, die afwijkingen van de theoretische banen zouden veroorzaken. Het is wel duidelijk dat vooral bij kleine snelheden de invloed van zulke onregelmatigheden groot zal kunnen zijn.

De opstelling die voor dit onderzoek gebruikt werd, is schematisch weergegeven in *fig. 4a*. Het oppervlak van het rubbervel was slechts gekromd in één richting, de X-richting. Het minimum in de hoogte van het vel werd verkregen door dit aan te leggen tegen een metalen doos waarvan de geperforeerde bovenzijde een hol profiel had. De doos werd aangesloten op een vacuumleiding, waardoor het vel werd vastgehouden. Verderop werd het vel weer in een horizontaal vlak gebracht door middel van een gladde cylindrische metalen plaat met straal R. Deze plaat bestond uit drie delen, die in fig. 4*a* met stippellijnen zijn aangegeven. De afmetingen waren zo gekozen dat na wegnemen van het middengedeelte de vrijgekomen ruimte juist kon worden opgevuld door een eenheid van zes drukplaatjes. De theoretische waarden van de krachten waarmee de drukplaatjes belast moesten worden om zo goed mogelijk hetzelfde profiel te geven als de gladde metaalplaat, zijn in dit geval gemakkelijk te berekenen. Het blijkt dat de vereiste druk op het gehele gesteunde oppervlak constant moet zijn, en wel $p = \sigma/R$. Er werd nu nagegaan of deze berekende belasting inderdaad, zonder storende onregelmatigheden, het verlangde profiel opleverde. Daartoe werden in het punt A (fig. 4*a*) kogeltjes zonder beginsnelheid gestart. Deze zouden in het ideale geval alle moeten aankomen in het punt B, dat in de richting loodrecht op de „electrodes" tegenover A ligt. In werkelijkheid trad, zowel bij gebruik van de gladde plaat als bij gebruik van het „ruimteladingsapparaat", een zekere spreiding op in de punten van aankomst. Deze spreiding werd bepaald door in B een maatlat aan te brengen. De aantallen kogels die tussen bepaalde maatstrepen arriveerden, zijn uitgezet in fig. 4*b*. Hoewel de snelheid bij en na het passeren van de dragende plaat met straal R klein was en onregelmatigheden in het velopper-

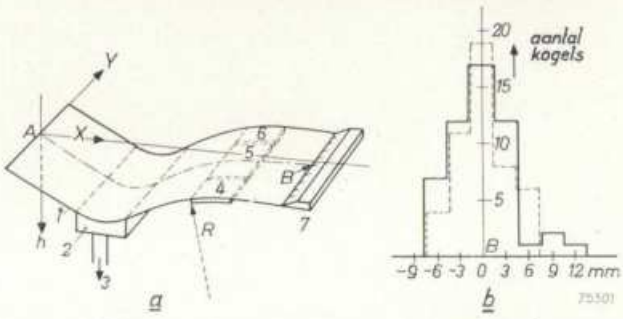


Fig. 4. *a*) Schematische aanduiding van een opstelling waarmee de invloed van de plaatjesstructuur van het ruimteladingsapparaat (zie fig. 3) op de kogelbanen werd gecontroleerd. *1* rubbervel; *2* doos met geperforeerde bovenkant, aangesloten op de vacuumleiding *3*; *4*, *5* en *6* cylindrische metalen platen die aan het rubbervel een kromming met straal R geven. Plaat *5* kan worden vervangen door een ruimteladingsapparaat volgens fig. 3. *7* maatlat.
b) Spreiding om het punt B van de punten van aankomst van de kogels gestart in A. De ordinaat geeft aan hoeveel kogels arriveerden binnen de afstand die door het bijbehorend interval van de abscis wordt aangegeven. De getrokken lijn geldt bij ondersteuning van het membraan door de metalen plaat *5*, de stippellijn voor het geval dat deze plaat door een ruimteladingsapparaat was vervangen.

vlak dus grote invloed konden hebben, vertoont de spreiding in beide gevallen hetzelfde beeld. Blijkbaar zijn de afwijkingen, veroorzaakt door onvolkomenheid van het ruimteladingsmodel, slechts klein ten opzichte van afwijkingen door andere oorzaken.

Pierce-kanon

Als voorbeeld van een geval waarbij een indruk wordt verkregen omtrent de snelheid waarmee de iteratiemethode tot een resultaat voert, werd op het rubbervel een uitvoering van het bekende electronenkanon van Pierce[5]) geïmiteerd. De electrodes hebben hier een zodanige vorm (*fig. 5*) dat de electronen in een evenwijdige bundel van de kathode naar de anode gaan, ondanks hun onderlinge afstoting. Wanneer geen druk aangebracht werd, dus geen ruimtelading in rekening werd gebracht, bleek de bundel zo sterk te convergeren dat hij bij de anode ongeveer de halve doorsnede had gekregen.

[5]) J. R. Pierce, Rectilinear electron flow in beams, J. appl. Phys. **11**, 548-554, 1940; zie ook bijv. Philips techn. T. **13**, 188, 1951.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Werd uit deze banen de dichtheid van de ruimtelading in eerste benadering berekend en vervolgens de hiermee overeenkomende drukverdeling aangebracht, dan bleek de bundel reeds evenwijdig te zijn binnen de met een rubbervel bereikbare nauwkeurigheid [6]).

De eerste benadering van de verdeling van de ruimtelading week nog belangrijk af van de werkelijke verdeling, die uit de berekening van Pierce [5]) bekend was en die we dus met onze eerste benadering konden vergelijken. We hadden trouwens ook uit de waargenomen evenwijdige bundel op

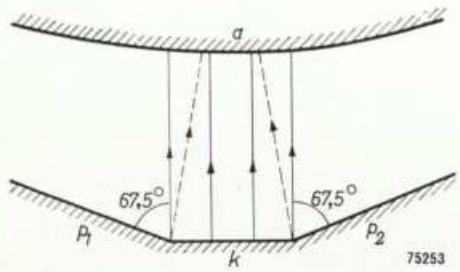


Fig. 5. Electrodenconfiguratie bij het Pierce-kanon. k kathode; p_1 en p_2 hulpelectrodes op kathodepotentiaal; a anode. Geëmiteerd op het rubbervel bleven de „electronen"-banen binnen de stippellijnen indien geen „ruimtelading", dwz. geen verdeelde druk werd aangebracht. Bij het aanbrengen van de uit deze banen afgeleide „ruimtelading" bleken de banen reeds evenwijdig te zijn.

het vel de tweede benadering van de ruimtelading kunnen berekenen, die dan niet veel van de werkelijke verdeling zou kunnen verschillen.

Uit dit voorbeeld blijkt dat de aangebrachte drukverdeling belangrijk van de eindwaarde kan afwijken, terwijl toch de kogels reeds practisch hun definitieve banen doorlopen.

Diode met thermische snelheidsverdeling van de electronen

Het geval van de vlakke diode kan men theoretisch exact behandelen, ook als men in rekening wil brengen dat de electronen de kathode met verschillende aanvangssnelheden verlaten (zg. thermische snelheidsverdeling). Snelheidscomponenten evenwijdig aan de electrodes hebben bij de vlakke diode geen invloed op de looptijd van de electronen en ook niet op de verdeling van ruimtelading en potentiaal. In principe behoefden wij hier dus met de richtingsverdeling van de aanvangssnelheden geen rekening te houden. Toch hebben wij dit wel gedaan en wel met het oog op het voorgenomen onderzoek van een triode, waarbij het probleem niet meer één-, maar tweedimensionaal is ten gevolge van de aanwezigheid van de roosterdraden. Daar is dus de richtingsverdeling der electronen wel van invloed.

De thermische verdeling van de snelheidscomponent in de richting loodrecht op de kathode is geschetst in *fig. 6*. Omdat het natuurlijk onmogelijk is op het rubbervel een dergelijke continue snelheidsverdeling na te bootsen, werd deze benaderd door een verdeling in vier snelheidsgroepen van gelijke intensiteit, dwz. dat alle groepen evenveel electronen bevatten. In fig. 6 komt deze splitsing overeen met een verdeling van het oppervlak onder de kromme in vier gebieden van gelijke oppervlakte, I tot en met IV. Iedere snelheidsgroep werd op het vel gerepresenteerd door vijf kogels, die onder hoeken van $0°$, $\pm 30°$, $\pm 60°$ met de normaal op de kathode werden gestart, alle met een component loodrecht op de kathode corresponderend met een geschikt gekozen gemiddelde snelheid van die groep [7]). Met de richtingsafhankelijkheid van de electronenemissie, die bekend is [8]), werd rekening gehouden door bij de bepaling van de ruimteladingsverdeling uit de stippelbanen op de foto's, de stippen voor de verschillende inschiethoeken met de juiste gewichtsfactor te vermenigvuldigen. Om een betere middeling te verkrijgen over oneffenheden in het vel-oppervlak, werd het experiment herhaald bij verschillende startplaatsen op de kathode.

Fig. 7 geeft een overzicht van het rubbermembraan waarmee het potentiaalverloop in de diode is nagebootst.

Bij dit model werd, door nameten, nog eens gecontroleerd of het membraan de juiste vorm zou aannemen als een druk werd aangebracht die vol-

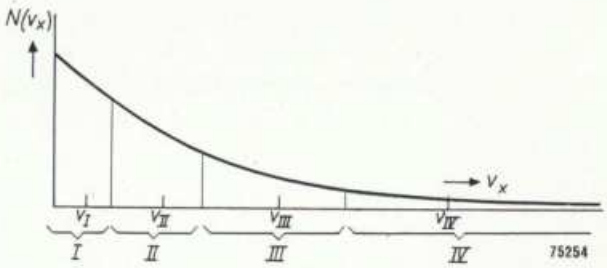


Fig. 6. Verdeling van de voorwaartse snelheid (hier uitgedrukt in electronvolts, V_x) der electronen die uit een verhitte kathode treden. De verdeling werd benaderd door een indeling in vier snelheidsgroepen.

[6]) Bobykin c.s. hebben ditzelfde geval als contrôle op de methode onderzocht, met hetzelfde resultaat.

[7]) Wij moeten hier niet de gewone gemiddelde snelheid nemen van de electronen uit een snelheidsgroep. De bijdrage van een electron tot de ruimtelading in een volume-element is evenredig met de verblijftijd van het electron in dit volume-element, dus met reciproke snelheid. Daarom is, voor elke groep, de „geschikte" gemiddelde snelheid zodanig dat haar reciproke waarde het gemiddelde is van de reciproke snelheidswaarden van de electronen van deze groep.

[8]) Zie bijv. W. G. Dow, Fundamentals of engineering electronics, Chapman and Hall, London 1937, Hfdst. XI.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

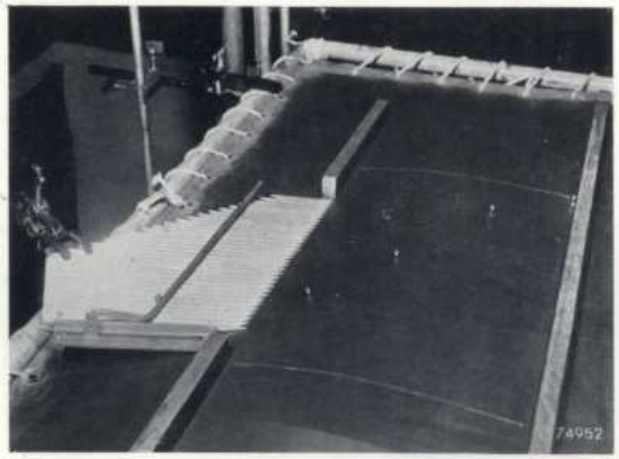


Fig. 7. Overzicht van het rubbervel waarmee het potentiaalverloop in een diode is nagebootst. Op het vel zijn twee krijtstrepen getrokken om in de foto te laten uitkomen dat het bol staat. Links ziet men de startgoten, waarin de kogels hun beginsnelheid krijgen. Bij alle proeven werden de kogels vlak na elkaar gestart met een tussenruimte voldoende om onderlinge botsingen en te grote indeuking van het membraan door hun gezamenlijk gewicht te voorkomen.

gens (6) correspondeerde met de juiste, berekende, ruimtelading. In *fig. 8* is deze vorm getekend. De bovenste kromme werd verkregen nadat wij het vel langzaam op de drukplaatjes hadden laten zakken, de onderste nadat wij het eerst te ver naar beneden hadden gedrukt en het daarna langzaam omhoog lieten komen. De gemiddelde positie van het vel komt goed overeen met de theoretische potentiaalverdeling. Uit de afwijkingen die de extreme krommen vertonen ten opzichte van het gemiddelde blijkt dat de wrijving in het ruimteladingsapparaat een bepaald percentage (hier 15%) bedraagt van de belasting. Bij de experimenten lieten wij steeds het rubbervel voorzichtig op de drukplaatjes zakken, zodat de wrijvingskrachten alle omhoog gericht waren. Wij corrigeerden voor deze krachten door de belasting van de plaatjes 15%

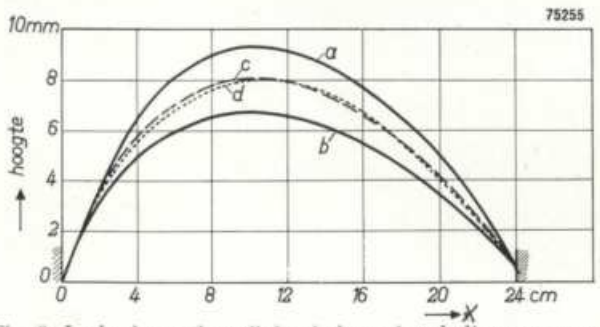


Fig. 8. Invloed van de wrijving in het ruimteladingsapparaat, bij een uitvoering die een voorloper was van het apparaat van fig. 3. Met het rubbervel was het potentiaalverloop in een diode nagebootst (zie fig. 7). Uitgezet is de hoogte van het vel in een doorsnede loodrecht op de electrodes. De krommen *a* and *b* geven de uiterste standen aan die het vel ten gevolge van de wrijving kon innemen. Kromme *c*, het gemiddelde van *a* en *b*, viel bijna samen met de theoretische kromme *d*.

kleiner te maken dan uit formule (6) zou volgen.

Uitgaande van de zo verkregen juiste vorm van het membraan, lieten wij kogels rollen, gestart met de boven besproken snelheids- en richtingsverdeling. Uit de banen werd weer de ruimteladingsverdeling berekend, die moest kloppen met de verdeling waarvan we uitgegaan waren. Dit was inderdaad vrij goed het geval (*fig. 9*). De afwijkingen tussen de juiste kromme *a* en de gevonden kromme *b* zijn te begrijpen uit de manier waarop gecorrigeerd werd voor de wrijving van de kogels op het vel [9]). De startsnelheid werd nl. verhoogd met een zodanig bedrag dat in het potentiaalminimum de juiste snelheid werd bereikt. De naar de anode overstekende electronen liepen daardoor v o o r het potentiaalminimum te snel en gaven daar dus een t e k l e i n e

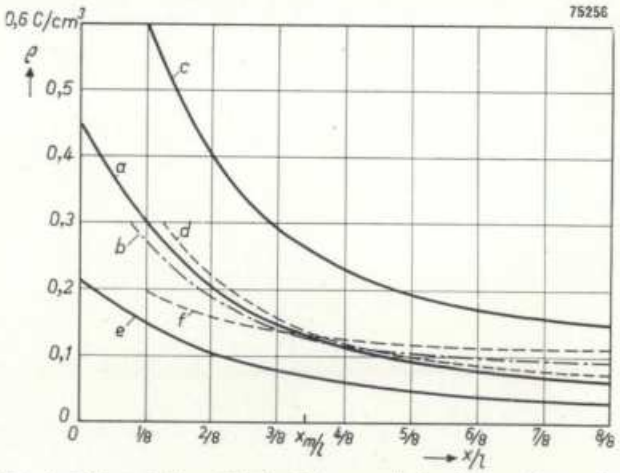


Fig. 9. Ruimteladingsdichtheid in een diode als functie van de plaatscoördinaat x/l (l is de afstand kathode-anode). x_m/l geeft de plaats aan van het potentiaalminimum.

Kromme *a*: Theoretische ruimteladingsverdeling.

Kromme *b*: Deze is afgeleid uit proeven op het rubbervel, waaronder een druk was aangebracht corresponderend met de theoretische ruimteladingsverdeling.

De krommen *c* en *e* stellen verdelingen voor waarbij de ruimteladingsdichtheid resp. overal tweemaal zo groot en half zo groot is als de theoretische. De krommen *d* en *f* zijn afgeleid uit proeven op het rubbervel waarbij een druk corresponderend met een ruimteladingsverdeling resp. volgens *c* en volgens *e* was aangebracht. De krommen *c*, *d* en *e*, *f* geven een indruk van de convergentiesnelheid van de iteratiemethode.

bijdrage tot de ruimteladingsdichtheid. V o o r b i j het minimum liepen ze te langzaam en gaven daar dus juist een t e g r o t e bijdrage.

De krommen *c* en *d* van fig. 9 geven een indruk van de snelheid van convergentie. In een afzonderlijke proef werd uitgegaan van een ruimteladingsdichtheid volgens *c*, die in elk punt tweemaal zo groot was als de theoretische waarde en dus geheel verkeerd. Door nu kogels te laten lopen en de ver-

[9]) Deze wrijving dient wel onderscheiden te worden van de wrijving in het ruimteladingsapparaat, die hiervoor ter sprake is gekomen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

deling voor de volgende stap daaruit af te leiden, werd kromme *d* verkregen, die gemiddeld al minder dan 10% van het eindresultaat (kromme *b*) afwijkt. Ook toen uitgegaan werd van een ruimtelading die half zo groot was als de theoretische waarde, convergeerden de resultaten redelijk snel (krommen *e* en *f*). In beide gevallen was in de buurt van het potentiaalminimum de afwijking na de eerste stap reeds zeer gering.

Fig. 10 geeft een beeld van de verkregen kogelbanen, getekend naar foto's die werden genomen met intermitterende belichting. Deze banen hebben betrekking op electronen die loodrecht op de kathode werden gestart met drie verschillende snelheden.

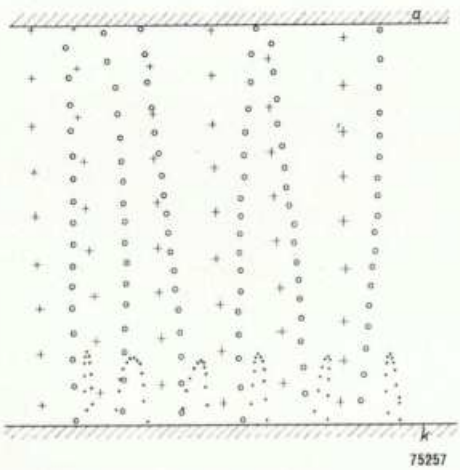


Fig. 10. „Electronen"-banen op het rubbervel, waarmee het potentiaalveld in een diode was nagebootst. De stippelbanen zijn getekend naar de fotografische opnamen met intermitterende belichting. Er zijn hier drie verschillende startsnelheden loodrecht op de kathode gebruikt, die door drie verschillende tekens zijn onderscheiden. Deze snelheden bedroegen 0,84 v_m (•), 1,19 v_m (○) en 1,69 v_m (+) (v_m is de startsnelheid waarbij de kogels nog juist het potentiaalminimum konden bereiken). De afwijkingen van de rechte lijn moeten aan onregelmatigheden in het veloppervlak worden toegeschreven.

Toepassing op een microgolftriode

Na deze proeven ter toetsing van de methode hebben wij deze toegepast bij de ontwikkeling van een nieuwe buis, een microgolftriode. In zo'n buis is de diameter van de roosterdraden, hoewel zeer klein (5 μ), toch niet klein meer ten opzichte van de afstand tussen rooster en kathode (*fig. 11*). Daardoor krijgt de ruimtelading hier een zeer grillig verloop, dat niet meer exact te berekenen is.

We gingen uit van een min of meer plausibele verdeling van de ruimtelading, die berekend was door de triode te verdelen in schijven evenwijdig aan de roosterdraden en loodrecht op de kathode. De schijven werden opgevat als ideale triodes, waarbij de zijdelingse afbuigingen werden verwaarloosd. Deze rekenmethode is o.a. beschreven door Benett en Peterson [10]).

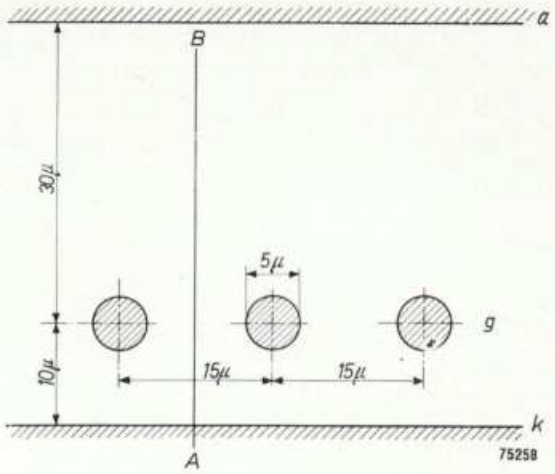


Fig. 11. Electrodenconfiguratie in een microgolftriode. *k* kathode; *g* rooster; *a* anode.

Enkele typische banen in het met deze ruimtelading verkregen potentiaalveld, getekend naar de foto's, zijn in *fig. 12* weergegeven. De ingestelde „roosterspanning" correspondeerde met een situatie waarbij men een grote stroomdichtheid had, maar toch nog voldoende ver van de verzadiging verwijderd bleef, terwijl ook de roosterstroom niet te groot werd.

Uit het feit dat zoveel electronen door de dwarsvelden zulke sterke afbuigingen krijgen, blijkt, dat men niet kan verwachten dat de genoemde verdeling in van elkaar onafhankelijke schijven op zichzelf al een goede benadering geeft voor de ruimtelading in deze triodes. Wel kan men, gezien de snelle convergentie, die gebleken is uit de twee vorige voorbeelden, met redelijke zekerheid besluiten dat de gefotografeerde banen al dicht bij de werkelijke zullen liggen en dat de ruimteladingsdichtheid, die men uit de gefotografeerde banen kan berekenen, niet veel meer van de werkelijke verdeling zal verschillen.

Men lette voorts op de grote spreiding in de looptijden (aantal stippen per baan) bij de doorgaande electronen. Deze is een oorzaak van de achteruitgang van de steilheid bij hoge frequenties.

Aanhangsel. Convergentiesnelheid van het iteratieproces

Voor twee eenvoudige voorbeelden wordt hieronder door berekening nagegaan hoe snel het iteratieproces convergeert. Beide hebben betrekking op een stationnair eendimensionaal geval waarbij alle electronen in de positieve x-richting, en met dezelfde beginsnelheid, bewegen. Het nulniveau van de potentiaal φ kiezen wij zo dat $\varphi = 0$ waar de electronen-

[10]) W. R. Benett en L. C. Peterson, Bell System techn. J. **28**, 303-314, 1949.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

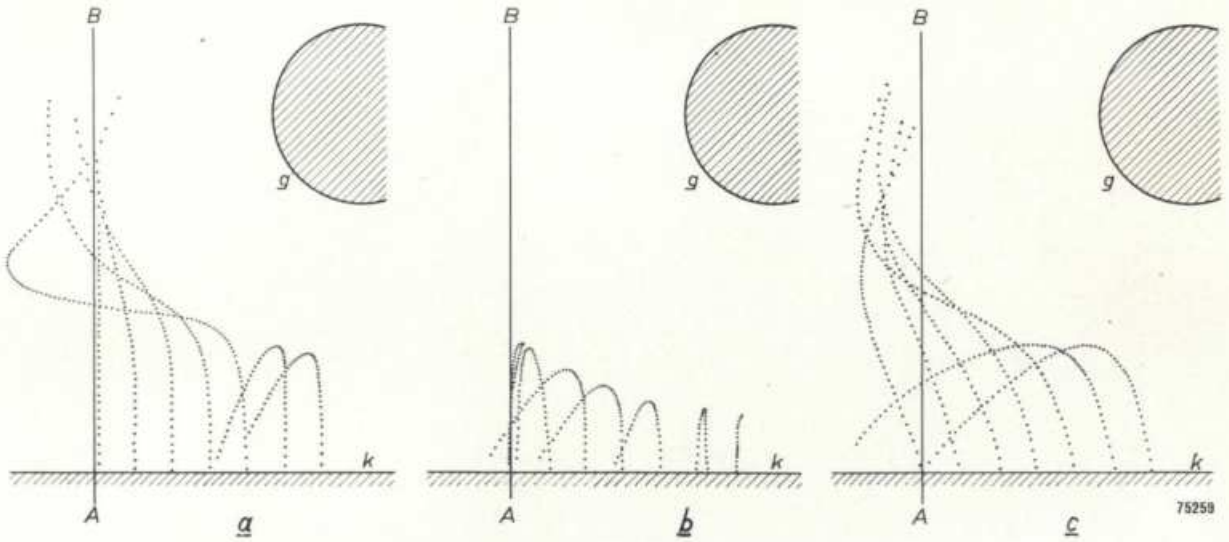


Fig. 12. Electronenbanen in de microgolftriode bepaald op het rubbermembraan. De lijnen *A-B* markeren het midden tussen twee roosterdraden (vgl. fig. 11).
a) Banen voor een beginsnelheid loodrecht op de kathode, representatief voor de doorgaande electronen.
b) Banen voor een beginsnelheid loodrecht op de kathode, representatief voor de terugkerende electronen.
c) Banen voor een beginsnelheid even groot als die uit (*a*) maar nu gestart onder een hoek van 20° met de normaal op de kathode.

snelheid $v = 0$. De electronenstroom met stroomdichtheid j geeft dan een ruimteladingsdichtheid ϱ:

$$\varrho = \frac{j}{v} = j\sqrt{\frac{m}{2e}}\varphi^{-1/2}, \quad \ldots\ldots (7)$$

waarbij m = massa, e = lading van het electron.

De vergelijking van Poisson (3) neemt de vorm aan:

$$\frac{\mathrm{d}^2\varphi}{\mathrm{d}x^2} = -\frac{\varrho}{\varepsilon_0} \ldots\ldots\ldots (8)$$

Het iteratieproces betekent nu mathematisch het volgende: men substitueert in (8) voor ϱ een willekeurige (eenvoudige) functie $\varrho_0(x)$; de oplossing $\varphi_0(x)$ van (8) substitueert men in (7); de aldus verkregen functie $\varrho_1(x)$ substitueert men weer in (8), en de nieuwe oplossing $\varphi_1(x)$ weer in (7), enz. Bij het oplossen van de differentiaalvergelijking (8) worden de integratieconstanten telkens bepaald door de gegeven electrodepotentialen.

Voor beide bedoelde voorbeelden hebben wij $\varphi(x)$ ook rechtstreeks berekend. Door (7) in (8) te substitueren, krijgt men een differentiaalvergelijking voor φ die men kan oplossen [11]). Het resultaat waarnaar de iteratiemethode moet convergeren, was dus bekend.

De vlakke diode

Het eerste voorbeeld is een vlakke diode. We nemen aan dat de electronen zonder beginsnelheid uit de kathode ($x = 0$) treden en dat de stroom door de ruimtelading begrensd is. De stroomdichtheid wordt in dat geval gegeven door de bekende wet van Child (l = afstand anode-kathode, φ_a = anodepotentiaal):

$$j = -\frac{4}{9}\varepsilon_0\sqrt{\frac{2e}{m}}\cdot\frac{\varphi_a^{3/2}}{l^2} \ldots\ldots (9)$$

Met deze waarde van j en met de randvoorwaarden: voor $x = 0$ is $\varphi = 0$ en voor $x = l$ is $\varphi = \varphi_a$, levert de rechtstreekse oplossing van φ de wet van Langmuir:

$$\frac{\varphi}{\varphi_a} = \left(\frac{x}{l}\right)^{4/3} \ldots\ldots\ldots (10)$$

Dit potentiaalverloop is uitgezet in *fig. 13*, waarin tevens zijn opgenomen de successieve benaderingen φ_0, φ_1 en φ_2, die men vindt als men uitgaat van $\varrho_0(x) = 0$. Men ziet dat de tweede benadering al vrijwel de juiste potentiaalverdeling (10) geeft.

Uitgangsruimte van een tetrode

Het tweede voorbeeld is de ruimte tussen schermrooster g_2 en anode van een tetrode, waarbij deze electrodes op de-

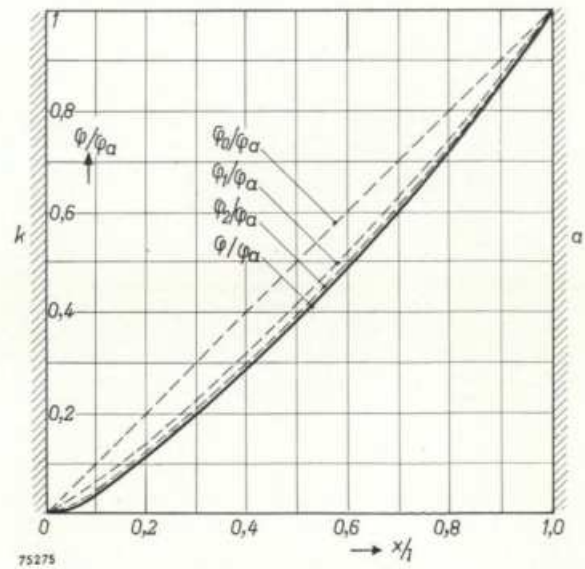


Fig. 13. De iteratiemethode toegepast op de potentiaalverdeling in een vlakke diode waarin de stroom door de ruimtelading wordt begrensd.

[11]) Men zie bijv. H. Rothe en W. Kleen, Grundlagen und Kennlinien der Elektronenröhren, Akad. Verlagsges., Leipzig 1943, blz. 40. In dit boek is de oplossing voor het geval van een vlakke diode te vinden op blz. 20.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zelfde potentiaal φ_a staan. De stroomdichtheid j kan men hier regelen met het stuurrooster. Rechtstreekse oplossing van $\varphi(x)$ is ook nu mogelijk en levert een potentiaalverdeling als gegeven in *fig. 14*, die, zoals men kon verwachten, een minimum φ_m midden tussen de electrodes vertoont. De diepte van het potentiaalminimum neemt toe met toenemende j. Bovendien blijkt dat men j niet kan opvoeren boven een maximale waarde j_{max}, waarbij $\varphi_m/\varphi_a = {}^1/_4$ [12]). Wij voeren j/j_{max} in als parameter. De kromme in fig. 14 geldt voor $j/j_{max} = 1$.

Behalve de exacte oplossing $\varphi(x)$ zijn in fig. 14 opgenomen de successieve benaderingen φ_0, φ_1 en φ_2 die men vindt als men uitgaat van $\varrho_0(x) = 0$. Men ziet dat hier de tweede benadering $\varphi_2(x)$ nog belangrijk afwijkt van de juiste potentiaalverdeling. De functie $\varphi_1(x)$ stelt, zoals men gemakkelijk narekent, een parabool voor. De functie $\varphi_2(x)$ is reeds zo gecompliceerd dat de integratie die wij moeten uitvoeren om $\varphi_3(x)$ te vinden, te moeilijk wordt. Door een kunstgreep kunnen wij, met enige opoffering van exactheid, toch verder komen. $\varphi_2(x)$ kan nl. met goede benadering worden vervangen door een parabool met hetzelfde minimum $\varphi_{2,m}$. Uitgaande van deze parabool kunnen wij dan $\varphi_3(x)$ vinden, waarna wij de kunstgreep opnieuw toepassen. Uitgaande van een willekeurige parabool $\varphi_n(x)$ met minimum $\varphi_{n,m}$ kan men het minimum $\varphi_{n+1,m}$ van de volgende benadering als functie van $\varphi_{n,m}$ berekenen. Voor verschillende waarden van j/j_{max} is dit verband uitgezet in *fig. 15*. Nemen wij bijv. aan dat $j/j_{max} = 0{,}8$ en dat $\varphi_{0,m}/\varphi_a = 0{,}9$, dan vinden wij met de kromme voor $j/j_{max} = 0{,}8$ de waarde 0,63 voor $\varphi_{1,m}/\varphi_a$. Deze waarde gebruiken wij dan weer als uitgangspunt op de abscis om $\varphi_{2,m}/\varphi_a$ te vinden, enz.

De traplijn tussen de kromme voor de gekozen waarde van j/j_{max} en de rechte $\varphi_{n+1,m} = \varphi_{n,m}$ laat ons dus zien hoe snel wij het eindresultaat benaderen.

De benadering $\varphi_0(x)$ die wij vonden toen wij uitgingen van $\varrho_0(x) = 0$, dus de horizontale rechte in fig. 14, kunnen wij ook reeds opvatten als een parabool met minimum $\varphi_{0,m} = \varphi_a$.

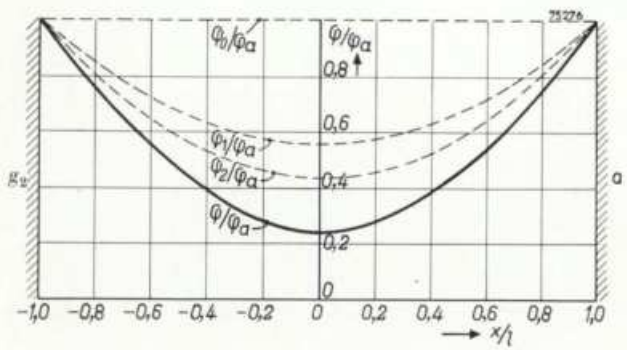


Fig. 14. De iteratiemethode toegepast op de potentiaalverdeling in de ruimte tussen schermrooster g_2 en anode a van een tetrode waarin deze electrodes op dezelfde potentiaal φ_a staan en waarvoor de stroomdichtheid haar maximale waarde heeft ($j/j_{max} = 1$). l = halve afstand g_2-a.

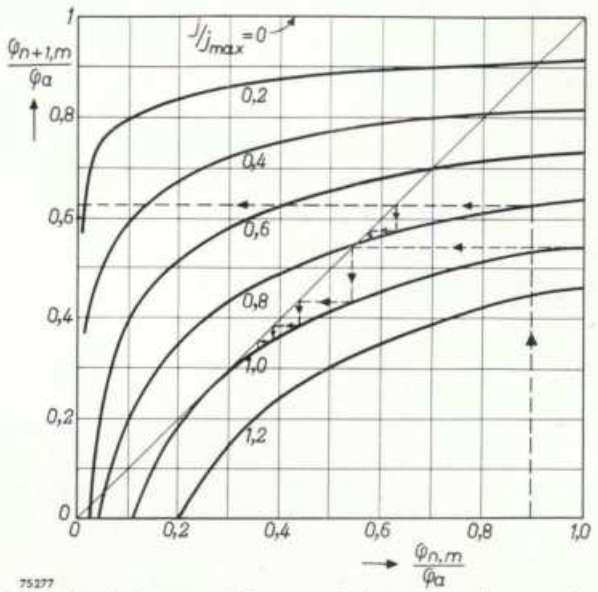


Fig. 15. Grafische voorstelling waarin het verloop kan worden gevolgd van de iteratiemethode, toegepast op de tetrode, voor verschillende waarden van j/j_{max}.

Als wij uitgaan van een ruimtelading nul, moeten wij in fig. 15 dus steeds onze traplijnen beginnen bij $\varphi_{0,m}/\varphi_a = 1$.

Men ziet dat de convergentie slechter wordt naarmate j/j_{max} dichter bij 1 ligt. Neemt men $j/j_{max} > 1$, dan ziet men ook dat de iteratiemethode niet tot een eindresultaat voert, in overeenstemming met de opmerking in noot [12]).

Samenvatting. De beweging van electronen in tweedimensionale electrische velden kan men nabootsen door kogels te laten rollen over een oppervlak dat een „model" is van dit potentiaalveld. Het model kan worden gerealiseerd door een gelijkmatig gespannen rubbermembraan dat op de juiste wijze wordt ondersteund. Het blijkt dat de invloed van een electrostatische ruimtelading in rekening kan worden gebracht door een verdeelde druk aan te brengen onder tegen het membraan. Aangezien de ruimtelading wordt veroorzaakt door de electronen waarvan men de beweging juist met behulp van het rubbermembraan te weten wil komen, moet men een methode van opeenvolgende benaderingen toepassen. Na een beschrijving van de apparatuur waarmee de verdeelde druk wordt aangebracht, wordt een viertal experimenten beschreven. De eerste drie hiervan dienen om de methode en de apparatuur te toetsen en hebben daarom betrekking op problemen waarvan de oplossing reeds langs andere weg verkregen was (cylindervorming gedeformeerd membraan, Pierce-kanon, diode met thermische snelheidsverdeling der electronen). Het vierde experiment betreft de beweging van electronen in een microgolf-triode. In een aanhangsel wordt voor een tweetal eenvoudige voorbeelden langs mathematische weg nagegaan hoe snel de methode van opeenvolgende benaderingen convergeert (vlakke diode, uitgangsruimte van een tetrode).

[12]) Probeert men j toch groter te maken dan j_{max}, dan springt het potentiaalminimum op nul en er gaan electronen vanaf dit minimum teruglopen, waardoor niet meer voldaan is aan de in (7) genoemde betrekking $\varrho = j/v$. Men vindt een uitvoerige behandeling in het in noot [12]) aangehaalde boek op blz. 40 e.v.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2020: M. E. Wise: Free electrons, traps and glow in crystal phosphors (Physica **17**, 1011-1032, 1951, No. 11-12).

Overzicht van de welbekende monomoleculaire en bimoleculaire theorieën van het nalichten van fosforen en van de thermoluminescentie. De bij fosforen van het ZnS-type waargenomen verschijnselen worden besproken, in het bijzonder die bij fosforen met lange nalichtduur, waarbij de intensiteit volgens een hyperbolische functie van de tijd afhangt. Vele auteurs hebben deze verschijnselen verklaard met behulp van een monomoleculaire theorie in combinatie met zekere onderstellingen over de verdeling van de diepten van electronenvangplaatsen („traps"). Aangetoond wordt dat zekere wiskundige benaderingen, die moesten worden ingevoerd om theorie en waarneming in overeenstemming te brengen, te grof zijn. Er wordt een nieuwe, eenvoudige formule afgeleid, die de waarnemingen mathematisch nauwkeurig beschrijft. Verder wordt in verband hiermee een nieuwe physische theorie opgesteld voor het gedrag van vrije en in vangplaatsen gebonden electronen. Deze theorie wordt besproken in verband met het gedrag van F- en F'-centra in alkalihalogeniden en met een tot heden onopgelost probleem van de theorie der halfgeleiders.

R 177: W. Ch. van Geel en B. C. Bouma: La déformation des redresseurs électrolytiques et de quelques redresseurs à couche d'arrêt (Philips Res. Rep. **6**, 401-424, 1951, No. 6).

Een electrolytische gelijkrichter bevat een aluminiumelectrode waarop, door een tijd lang een gelijkstroom te laten doorgaan, een oxydehuid is gevormd (formeringsproces). Laat men een gelijkstroom gaan in omgekeerde richting, dan wordt de oxydehuid verstoord (deformering) en gaan de gelijkrichtende eigenschappen verloren. Na deformering kan de oxydehuid opnieuw worden gevormd, waardoor de gelijkrichtende eigenschappen terugkeren. Voor dit herstel kan ook van wisselspanning worden gebruik gemaakt. Dergelijke processen vinden plaats bij „synthetische" gelijkrichters, bijv. Zr-ZrO_2-(CuJ+J) en bij gelijkrichters bestaande uit een halfgeleider en een metaal, gescheiden door een keerlaag van kunsthars, en ook bij een gewone seleniumgelijkrichter, waarbij een laagsmeltende legering op de seleniumlaag is aangebracht. Aangenomen wordt, dat in al deze gevallen de gelijkrichtende werking daardoor ontstaat dat de keerlaag is opgebouwd uit twee delen, die hun geleidingsvermogen danken aan ladingsdragers van verschillend teken (electronen en „gaten"). Bij het deformeringsproces verliest een dezer delen zijn karakter en er ontstaat één laag met ladingsdragers van dezelfde soort, waardoor de gelijkrichtende werking verloren gaat.

R 178: Th. P. J. Botden: Transfer and transport of energy by resonance processes in luminescent solids (Philips Res. Rep. **6**, 425-473, 1951, No. 6).

Onderzoekingen over energie-overdracht en energietransport in vaste stoffen, waarbij door de aanslag geen vrije electronen en „gaten" worden gevormd. In dit eerste deel worden systemen beschreven waarbij energietransport via het moederrooster mogelijk is, nl. in met samarium geactiveerde wolframaten en molybdaten van aardalkaliën (Ca, Sr, Ba). Aanslag in de absorptieband van het moederrooster leidt bij lage temperatuur (<250 °K) zowel tot wolframaat- of molybdaatfluorescentie als tot samariumfluorescentie. Bij deze temperaturen is het quantumrendement van de samariumfluorescentie onafhankelijk van de temperatuur, terwijl daarentegen, bij aanslag door straling van bepaalde golflengten, het quantumrendement van de wolframaat- of molybdaatfluorescentie met de temperatuur varieert. De aanslagenergie, die bij lage temperatuur tot samariumfluorescentie aanleiding geeft, wordt hoofdzakelijk in wolframaat- of molybdaatgroepen in de nabijheid van de samariumionen geabsorbeerd, waarbij de energie van deze groepen aan het samariumion wordt overgedragen. Vanaf de temperatuur waarbij de wolframaat- of molybdaatfluorescentie begint af te nemen, of bij een iets hogere temperatuur, stijgt het quantumrendement van de samariumfluorescentie met toenemende temperatuur, doordat de energie van verder afgelegen groepen aan het samariumion wordt overgedragen, via de in de onmiddellijke omgeving van het ion gelegen groepen. Het mechanisme van deze energie-overdracht en dit energietransport wordt besproken. Berekeningen op grond van diverse theorieën betreffende de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

doving van de fluorescentie voeren tot resultaten die in overeenstemming zijn met de theorie van Mott en Seitz en niet met die van Möglich en Rompe.

R 179: J. L. H. Jonker: On the theory of secondary electron emission (Philips Res. Rep. **7**, 1-20, 1951, No. 1).

Het gedrag van secundaire electronen (hoekverdeling, afhankelijkheid van de secundaire emissie van de energie der primaire electronen) kan theoretisch voorspeld worden door uit te gaan van de volgende onderstellingen:

1) de productie van secundaire electronen is evenredig met het energieverlies der primaire electronen, volgens de formule van Whiddington;
2) bij het ontstaan is de richtingsverdeling der secundaire electronen isotroop;
3) in het materiaal ondergaan de secundaire electronen een absorptie volgens een exponentiële wet;
4) bij het verlaten van het oppervlak volgen de secundaire electronen de brekingswet van Snellius.

Deze eenvoudige theorie blijkt de practische resultaten behoorlijk weer te geven.

R 180: J. Volger: The specific heat of barium titanate between 100 °K and 410 °K (Philips Res. Rep. **7**, 21-27, 1952, No. 1).

De soortelijke warmte van polykristallijn bariumtitanaat ($BaTiO_3$) werd gemeten met behulp van een calorimeter van Nernst. De bijdrage van het kristalrooster kan niet afdoende worden beschreven met behulp van een enkele Debye-functie. De anomale waarden van de soortelijke warmte in de drie temperatuurgebieden waar kristallografische overgangen plaats vinden, werden bepaald.

R 181: W. J. van de Lindt: Application of multihole coupling to the design of a variable and calibrated waveguide attenuator and impedance (Philips Res. Rep. **7**, 28-35, 1952, No. 1).

Overzicht van de theorie van het gedrag van twee parallelle golfpijpen die onderling gekoppeld zijn door n equidistante identieke elementen (gaten of sleuven). Op grond van deze theorie worden geconstrueerd: een geijkte variabele verzwakker en een geijkte variabele impedantie. Met behulp van de laatste kunnen de faze en de amplitude van de reflectiecoëfficient onafhankelijk van elkaar worden gevarieerd.

R 182: G. Diemer en K. Rodenhuis: Optimum geometry of microwave amplifier valves (Philips Res. Rep. **7**, 36-44, 1952, No. 1).

Op grond van de theorie van Van der Ziel en Knol betreffende teruggekoppelde versterkers wordt aangetoond dat voor versterkbuizen voor ultrahoge frequenties de grensfrequentie maximaal wordt als de oppervlakten van de electrodes zo worden gekozen dat de nuttige capaciteit gelijk wordt aan de onvermijdelijke parasitaire capaciteit. Voor versterkers met optimaal product van versterking en bandbreedte moet de nuttige capaciteit iets groter zijn.

R 183: G. Diemer en H. Dijkgraaf: Langmuir's ξ, η tables for the exponential region of the I_a-V_a characteristic (Philips Res. Rep. **7**, 45-53, 1952, No. 1).

De afstanden tussen de electrodes in moderne diodes en triodes voor microgolven zijn vaak zo klein dat het normale werkpunt in het exponentiële deel van de karakteristiek ligt (zie **R 8**). Een serie tabellen van de door Langmuir ingevoerde grootheden ξ en η met de veldsterkte aan de anode als parameter, veroorlooft in deze gevallen de potentiaalverdeling te berekenen (zie ook **R 7**).

R 184: J. B. de Boer, V. Oñate en A. Oostrijck: Practical methods for measuring and calculating the luminance of road surfaces (Philips Res. Rep. **7**, 54-76, 1952, No. 1).

Als men de kwaliteit van een installatie voor wegverlichting wil beoordelen, is de verdeling van de helderheid (luminantie) van het wegdek en de verdeling ervan belangrijker dan de verlichtingssterkte in de diverse punten van het wegdek. Slechts omdat snelle en nauwkeurige methodes om de luminantie te meten en te berekenen ontbraken, werden meestal alleen gegevens over de verlichtingssterkte verstrekt. In dit artikel worden methodes beschreven die het mogelijk maken het begrip helderheid in de practijk van de wegverlichting te gebruiken. Aan de beschrijving van deze methodes gaat een discussie vooraf van enige publicaties over dit onderwerp. Voor de berekening van de luminantie zijn gegevens nodig betreffende de reflectie-eigenschappen van het wegdek. De desbetreffende data uit de literatuur zijn meestal onvolledig of niet nauwkeurig genoeg. Daarom zijn, althans voor een bepaald soort wegdek (droog asfalt), de reflectie-eigenschappen door de schrijvers bepaald. In een aanhangsel wordt een voorbeeld van de berekening gegeven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!